

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO**

# **MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

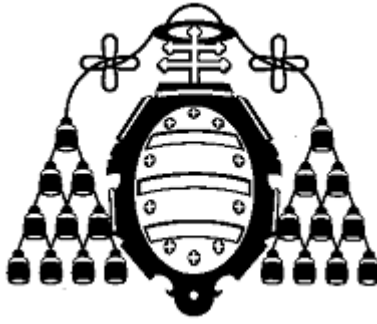
**DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO  
COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VÍA  
BLUETOOTH**

**JULIO 2015**

**Alexandra Borja Gonzalo**

**José Manuel Sierra Velasco**

**Juan Díaz González**



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO**

# **MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DOCUMENTO I: MEMORIA**

## **DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VÍA BLUETOOTH**

**JULIO 2015**

**Alexandra Borja Gonzalo**

**José Manuel Sierra Velasco**

**Juan Díaz González**

## **AGRADECIMIENTOS**

Un proyecto de la magnitud de un Trabajo de Fin de Máster no solo requiere de una gran cantidad de tiempo y dedicación, sino que también requiere de la intervención de personas sin las que su ayuda no hubiese sido posible el desarrollo de este proyecto.

Me gustaría expresar mi agradecimiento a aquellos profesores que han tenido la oportunidad de impartir clases durante mis dos años de docencia en el Máster, gracias a los cuales he podido adquirir las aptitudes y conocimientos necesarios para la realización del presente proyecto mecatrónico. También quiero agradecer al resto de profesores de la Universidad que de alguna manera han colaborado en la realización del presente proyecto y han contribuido a prestarme su apoyo, ayuda y asesoramiento.

En especial quiero agradecer también a los tutores de este Trabajo de Fin de Máster, Juan Díaz González y José Manuel Sierra Velasco por su tiempo y dedicación durante el desarrollo del proyecto. Además quiero expresar mi agradecimiento a María Martínez Gutiérrez, proyectante del Grado de Ingeniería Mecánica, por su aportación en el presente proyecto.

De la misma manera me gustaría agradecer a los técnicos del laboratorio que han trabajado de forma directa en la fase de fabricación del proyecto, sin los cuales la implementación física del prototipo no hubiese podido llevarse a cabo.

No quisiera concluir estos agradecimientos sin dedicar una mención especial a mis compañeros mecatrónicos, siempre dispuestos a prestarme su ayuda desinteresada y con los que he tenido la oportunidad de compartir la experiencia de este Máster a lo largo de estos últimos 2 años. No solo han contribuido a ofrecermme ayuda a nivel estudiantil, la cual ha sido de gran ayuda en varias ocasiones, sino que también han supuesto un gran apoyo moral, sobre todo en los momentos de mayor dificultad y exigencia que requería la realización del Máster.

Por último, y no por ello menos importante, deseo también dar las gracias a mis familiares y amigos, que aunque no sepan de primera mano en que consiste un proyecto mecatrónico, siempre han mostrado interés por mi trabajo realizado y han sabido transmitirme su ánimo y apoyo durante estos meses de trabajo intensivo.

## **RESUMEN**

En años anteriores, como parte de un TFM del Máster de Ingeniería Mecatrónica, se desarrolló una plataforma robótica con capacidad de control remoto inalámbrico que permitiera el ascenso a postes con el fin de realizar tareas colaborativas de captación de datos. Al robot diseñado se le bautizó con el nombre de KoalaBot por su capacidad de “trepar” a sitios de elevada altura. Dicho proyecto ha sido objeto de patente por la Universidad de Oviedo y está en proceso de comercialización a través de UNIVALUE, además de recibir el premio Fundación 3M a la innovación en el año 2011.

Sin embargo, hoy en día resulta difícil encontrar empresas que se arriesguen con nuevos desarrollos. De aquí surge la necesidad de continuar desarrollando nuevas versiones y aplicaciones que pongan en valor la idea y el diseño del KoalaBot.

El presente proyecto pretende diseñar e implementar físicamente sobre la base del diseño original, un modelo más sencillo, de menor tamaño, con un peso inferior a 1 Kg y que pueda ser montado fácilmente por una única persona. Su función no sería cargar con herramientas o útiles como el modelo original, sino otro tipo de aplicaciones colaborativas que puedan llevarse a cabo incorporando diferentes instrumentos a bordo del KoalaBot, tales como cámaras, diodos laser, sensores, focos, etc, con el fin de aprovechar su punto de vista privilegiado. Además, el nuevo KoalaBot podrá ser gobernado desde un Smartphone o Tablet a través de comunicación inalámbrica vía Bluetooth mediante una App propia, diseñada exclusivamente para la presente aplicación. De esta manera, el usuario podrá controlar el ascenso y descenso del KoalaBot Mini de forma sencilla e intuitiva desde su dispositivo móvil.

La realización del presente proyecto abarca toda la parte de diseño mecánico, electrónico y de software, así como las posteriores fases de fabricación, montaje y verificación del prototipo mecatrónico.

## **PALABRAS CLAVE**

Robot - Ascenso - Control Remoto - Bluetooth - Microcontrolador - Aplicación Móvil (App)





## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
1.1. PETICIONARIO.....	1
1.2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	1
1.2.1. Primer prototipo mecánico .....	1
1.2.2. KoalaBot .....	3
1.2.3. Prototipos manipuladores para KoalaBot .....	4
1.3. OBJETIVO.....	6
1.4. ALCANCE.....	7
1.5. ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO .....	7
1.6. ESTRUCTURA DE LA DOCUMENTACIÓN .....	8
<b>2. ESPECIFICACIONES TECNICAS .....</b>	<b>11</b>
2.1. DE CARÁCTER GENERAL .....	11
2.2. DE CARÁCTER ESPECIFICO .....	12
2.2.1. Mecánicas .....	12
2.2.2. Electrónicas.....	13
2.2.3. Control/Software .....	14
<b>3. DISEÑO MECÁNICO .....</b>	<b>15</b>
3.1. ALTERNATIVAS DE DISEÑO .....	15
3.1.1. Resorte a tracción .....	16
3.1.2. Resorte a compresión.....	17
3.2. VALORACIÓN Y SOLUCIÓN ADOPTADA.....	18
3.3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS .....	19
3.3.1. Cálculo del motor.....	22
3.3.2. Resorte a compresión.....	24
3.3.3. Eje de las ruedas .....	25
3.3.4. Eje patín .....	25
3.3.5. Puente.....	26
3.4. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	27
3.4.1. Resina de plástico (VWP).....	27
3.4.2. Aluminio .....	28
3.4.3. Acero .....	28
3.5. SELECCIÓN DE COMPONENTES COMERCIALES .....	28
3.5.1. Chasis.....	28
3.5.2. Muelles .....	29
3.5.3. Ruedas .....	30
3.5.4. Motor.....	31
3.5.5. Soporte motor.....	32
3.5.6. Acoplamiento.....	33
3.6. MODELADO DEL PROTOTIPO MECÁNICO DISEÑADO .....	33
<b>4. DISEÑO ELECTRÓNICO.....</b>	<b>41</b>
4.1. INTRODUCCIÓN .....	41
4.2. SELECCIÓN DE COMPONENTES COMERCIALES .....	41
4.3. PRIMER DISEÑO ELECTRÓNICO .....	48
4.4. DISEÑO ELECTRÓNICO FINAL .....	50
4.4.1. Placa Principal .....	50

4.4.2.	Placa de ampliación .....	51
4.5.	CIRCUITO ESQUEMÁTICO .....	52
4.5.1.	Placa Principal .....	52
4.5.2.	Placa de ampliación .....	56
4.6.	SIMULACIÓN DEL CIRCUITO DISEÑADO .....	57
4.7.	PLACA DE CIRCUITO IMPRESO .....	58
4.7.1.	Placa principal .....	58
4.7.2.	Placa de ampliación .....	60
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DEL CONTROL .....</b>	<b>62</b>
5.1.	INTRODUCCIÓN .....	62
5.2.	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO .....	62
5.2.1.	Modo Manual .....	62
5.2.2.	Modo Automático .....	63
5.3.	DISEÑO DEL SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR .....	63
5.3.1.	Entorno de programación .....	63
5.3.2.	Requisitos de programación .....	64
5.3.3.	Desarrollo del programa .....	65
5.4.	DISEÑO DEL SOFTWARE DEL DISPOSITIVO DE CONTROL REMOTO .....	68
5.4.1.	Entorno de programación empleado .....	68
5.4.2.	Requisitos de programación .....	69
5.4.3.	Desarrollo del programa .....	70
5.4.4.	Diseño de la interfaz grafica .....	71
<b>6.</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>79</b>
6.1.	FABRICACIÓN Y MONTAJE MECÁNICO .....	79
6.1.1.	Lista de materiales y componentes comerciales .....	79
6.1.2.	Procesos de Fabricación .....	80
6.1.1.	Corte por láser .....	86
6.1.2.	Plegado .....	86
6.1.3.	Torneado y serrado del chasis .....	87
6.1.4.	Lista de piezas .....	88
6.1.5.	Secuencia de montaje .....	90
6.2.	FABRICACIÓN Y MONTAJE ELECTRÓNICO .....	100
6.2.1.	Lista de componentes comerciales .....	100
6.2.2.	Elaboración de las PCBs .....	101
6.2.3.	Ensamblaje de las PCBs .....	103
6.3.	INTEGRACIÓN GLOBAL DEL SISTEMA MECATRÓNICO .....	105
6.3.1.	Mecánica-Electrónica .....	105
6.3.2.	Electrónica-Control .....	105
<b>7.</b>	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS .....</b>	<b>108</b>
7.1.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO PARCIAL .....	108
7.1.1.	Mecánicas .....	108
7.1.2.	Electrónicas .....	109
7.1.3.	Software .....	110
7.2.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GLOBAL MECATRÓNICO .....	111
7.2.1.	Duración de las baterías .....	112
7.2.2.	Capacidad de carga .....	112
7.2.3.	Velocidad de ascenso .....	112
7.2.4.	Velocidad de descenso .....	113
7.3.	VALORACIÓN DE LAS PRUEBAS REALIZADAS .....	113
<b>8.</b>	<b>REDISEÑO .....</b>	<b>115</b>
8.1.	CHASIS .....	115

8.2.	BISAGRA .....	116
8.3.	TUBOS TENSORES.....	117
8.4.	PATINES .....	120
8.5.	PROTOTIPOS.....	122
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>124</b>
<b>10.</b>	<b>APLICABILIDAD Y DESARROLLOS FUTUROS.....</b>	<b>126</b>
10.1.	PINTADO DE TUBOS.....	126
10.2.	GRABACIÓN O VIDEOVIGILANCIA .....	126
10.3.	ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....	127
10.4.	SEÑALIZACIÓN.....	127
10.5.	INTERACCIÓN ENTRE KOALABOT .....	128
10.6.	APLICACIONES LÚDICAS .....	129
10.7.	MANTENIMIENTO DE TUBERÍAS .....	129
10.8.	POSTES TRONCOCÓNICOS.....	130
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>132</b>
11.1.	PROYECTOS REFERENCIADOS:.....	132
11.2.	LIBROS Y PÁGINAS WEB CONSULTADAS .....	132

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Vista general del primer prototipo mecánico .....	2
Figura 1.2. Primer prototipo mecánico en posición de funcionamiento .....	2
Figura 1.3. Prototipo físico del KoalaBot .....	3
Figura 1.4. Diseño de KoalaBot.....	4
Figura 1.5. Accesorio de colocación de carteles para el KoalaBot (versión 1.0) .....	5
Figura 1.6. Accesorio de colocación de carteles para el KoalaBot (versión 2.0) .....	6
Figura 1.7. Listado de tareas del proyecto con su fecha de inicio y fin .....	8
Figura 3.1. Sistema de apertura y cierre.....	15
Figura 3.2. Esquema del diseño con tres brazos de apoyo.....	16
Figura 3.3. Diseño resorte a tracción .....	17
Figura 3.4. Diseño muelle a compresión.....	17
Figura 3.5. Detalle brazo telescópico.....	18
Figura 3.6. Esquema del diseño con muelles a compresión.....	19
Figura 3.7. Cuatro brazos a 90°.....	20
Figura 3.8. Sección 1-1. Esquema del mecanismo ideal.....	20
Figura 3.9. Diseño con 3 brazos dispuestos a 120° .....	21
Figura 3.10. Esquema mecanismo brazos a 120ª .....	21
Figura 3.11. Estado tensional del eje .....	25
Figura 3.12. Dimensiones del puente conducido .....	26
Figura 3.13. Estado tensional patín.....	27
Figura 3.14. Polea de persiana de PVC del distribuidor Leroy Merlin.....	29
Figura 3.16. Muelle a compresión seleccionado del fabricante RS .....	30
Figura 3.15. Ruedas de diámetro 32mm del fabricante Pololu .....	31
Figura 3.17. Micro motor con reductora del fabricante Pololu.....	32
Figura 3.18. Fundas protectoras para el micromotor de Pololu .....	32
Figura 3.19. Acoplamiento para motores de Pololu.....	33
Figura 3.20 Bisagra de cierre .....	34
Figura 3.21. Bisagra de apertura .....	34
Figura 3.22. Pieza separador brazo conducido .....	35
Figura 3.23. Separador brazo conducido montado .....	35
Figura 3.24. Pieza separador brazo conducido .....	36
Figura 3.25. Separador brazo motriz montado.....	36
Figura 3.26. Soporte motor montado .....	37
Figura 3.27. Mecanismo tensor.....	38
Figura 3.28. Vista superior del mecanismo tensor.....	38
Figura 3.29. Visión general del modelado final del diseño mecánico .....	39
Figura 3.30. Primera cara de la carcasa del KoalaBot Mini .....	39
Figura 3.31. Segunda cara de la carcasa del KoalaBot Mini .....	40
Figura 4.1. Microcontrolador PIC16F648A de 18 pines. ....	42
Figura 4.2. Micro motor con reducción 150:1 .....	43
Figura 4.3. Puente en H integrado L298 .....	43
Figura 4.4. Encoder magnético para micro motor .....	44
Figura 4.5. Tarjeta Pickit3 de Microchip® .....	45
Figura 4.6. Modulo Bluetooth RN-42 de 35 pines.....	45
Figura 4.7. Modulo Bluetooth HC-06 con placa de adaptación.....	46
Figura 4.8. Batería recargable LiPo .....	47
Figura 4.9. Regulador de tensión positiva LM7805.....	47
Figura 4.10. Diferentes componentes electrónicos discretos .....	48
Figura 4.11. Esquema en ISIS del diseño electrónico preliminar .....	49

Figura 4.12. Esquema en ARES del diseño electrónico preliminar .....	49
Figura 4.13. Visualización virtual de la PCB del diseño electrónico preliminar .....	50
Figura 4.14. Alimentación de la PCB .....	52
Figura 4.15. Circuito de adaptación PIC-modulo Bluetooth.....	53
Figura 4.16. Circuito inversor y conexiones de entradas al puente en H.....	54
Figura 4.17. Alimentaciones y conexiones de salida del puente en H .....	55
Figura 4.18. Conexiones del encoder al microcontrolador .....	55
Figura 4.19. Circuito de adaptación del Pickit3 al microcontrolador .....	56
Figura 4.20. Circuito de reset externo y condensadores de desacoplo.....	56
Figura 4.21. Circuito de adaptación de las señales de los LEDs.....	57
Figura 4.22. Simulación del esquemático en placa de pruebas (ProtoBoard).....	58
Figura 4.23. Diseño de la placa de circuito impreso principal en ARES .....	59
Figura 4.24. Representación 3D del diseño de la PCB principal .....	60
Figura 4.25. Diseño de la placa de circuito impreso de ampliación en ARES.....	60
Figura 4.26. Representación 3D del diseño de la PCB de ampliación .....	61
Figura 5.1. Interfaz del software PIC C Compiler .....	64
Figura 5.2. Modulación por ancho de pulso .....	67
Figura 5.3. Entorno de programación por bloques de App Inventor 2.....	69
Figura 5.4. Entorno de diseño de App Inventor 2 .....	69
Figura 5.5. Interfaz gráfica de la pantalla de inicio.....	71
Figura 5.6. Interfaz gráfica del menú principal .....	72
Figura 5.7. Interfaz gráfica del modo manual conectado .....	73
Figura 5.8. Velocidad de funcionamiento y sus opciones de configuración.....	74
Figura 5.9. Interfaz gráfica del modo automático conectado .....	75
Figura 5.10. Modo automático de posición y sus opciones de configuración .....	76
Figura 5.11. Modo automático de tiempo y sus opciones de configuración .....	77
Figura 5.12. Modo automático cíclico y sus opciones de configuración .....	78
Figura 6.1. Impresora HP Designjet 3D Printer. ....	80
Figura 6.2. Piezas del primer prototipo en la impresora. ....	81
Figura 6.3. Piezas del primer prototipo tras la retirada del material de soporte.....	81
Figura 6.4. Impresora Stratasys Objet30 Scholar.....	82
Figura 6.5. Diferencia entre las piezas de las impresoras. ....	83
Figura 6.6. Piezas impresas con material de soporte.....	83
Figura 6.7. Limpieza de las piezas impresas .....	83
Figura 6.8. Acabado final de las piezas impresas .....	84
Figura 6.9. Impresora 3D MakerBot x2 .....	84
Figura 6.10. Fabricación aditiva de la carcasa del prototipo.....	85
Figura 6.11. Piezas de la carcasa del KoalaBot recién impresas.....	85
Figura 6.12. Piezas cortadas por láser. ....	86
Figura 6.13. Plegado del soporte motor .....	86
Figura 6.14. Torneado del chasis .....	87
Figura 6.15. Serrado del chasis .....	87
Figura 6.16. Estructura de los subensamblajes del prototipo .....	88
Figura 6.17. Despiece del KoalaBot Mini.....	90
Figura 6.18. Montaje Muelle - Tapón Muelle.....	93
Figura 6.19. Montaje Tapón Muelle - Tensor .....	93
Figura 6.20. Montaje Alojamiento Tensor – Tornillo Tensor.....	94
Figura 6.21. Montaje Alojamiento Tensor - Tensor.....	94
Figura 6.22. Montaje Separadores – Puente Conducido .....	94
Figura 6.23. Montaje Ruedas – Puente Conducido .....	95
Figura 6.24. Montaje Tensor – Puente Conducido.....	95
Figura 6.25. Montaje Bisagras – Chasis Izdo.....	96

Figura 6.26. Montaje Bisagras – Chasis Dcho.....	96
Figura 6.27. Montaje Soporte Motor – Placa Motor.....	97
Figura 6.28. Montaje Placa Motor – Carcasa Motor.....	97
Figura 6.29. Montaje Eje Motriz – Acoplamiento Motor.....	97
Figura 6.30. Montaje Eje Motriz – Ruedas Motrices (1).....	97
Figura 6.31. Montaje Eje Motriz – Ruedas Motrices (2).....	98
Figura 6.32. Montaje Chasis – Brazo Conducido.....	98
Figura 6.33. Montaje Chasis – Brazos Conducidos – Brazo Motriz.....	99
Figura 6.34. Montaje del prototipo en un poste de Ø40mm.....	99
Figura 6.35. Montaje de la primera parte de la carcasa del KoalaBot Mini.....	100
Figura 6.36. Montaje de la segunda parte de la carcasa del KoalaBot Mini.....	100
Figura 6.37. PCB del circuito de ampliación.....	102
Figura 6.38. Serrado de la placa de ampliación.....	102
Figura 6.39. Top y Bottom de la placa de ampliación.....	103
Figura 6.40. Montaje de la placa principal.....	104
Figura 6.41. Montaje de la placa de ampliación.....	104
Figura 6.42. PCB principal y PCB de ampliación montadas.....	104
Figura 6.43. Implementación electrónica-mecánica.....	105
Figura 6.44. Tarjeta Pickit3 de la empresa Microchip.....	106
Figura 6.45. Interfaz del software MPLAB v8.60.....	106
Figura 6.46. Implementación Software Hardware adoptada.....	106
Figura 6.47. Interfaz Android con la app KoalaBot descargada.....	107
Figura 8.1. Diseño inicial de la carcasa.....	115
Figura 8.2. Chasis a partir de polea.....	115
Figura 8.3. Chasis prototipo 2.....	116
Figura 8.4. Bisagras v1.....	116
Figura 8.5. Bisagras v2.....	116
Figura 8.6. Bisagras v3.....	117
Figura 8.7. Brazo tensor v1.....	117
Figura 8.8. Brazo tensor v2.....	118
Figura 8.9. Brazo tensor v3.....	118
Figura 8.10. Vista en corte brazo tensor v3.....	119
Figura 8.11. Brazo tensor v4.....	119
Figura 8.12. Componentes del brazo tensor v4.....	120
Figura 8.13. Tornillo tope.....	120
Figura 8.14. Evolución diseño patín.....	121
Figura 8.15. Patín prototipo 1.....	121
Figura 8.16. Patín motriz prototipo 1.....	121
Figura 8.17. Patín prototipo 2.....	122
Figura 8.18 Patín motriz prototipo 2.....	122
Figura 8.19. Prototipo 1.....	122
Figura 8.20. Prototipo 2.....	123
Figura 10.1. Ejemplo de pintado.....	126
Figura 10.2. Dispositivo de vigilancia.....	127
Figura 10.3. Aplicación de pantallas informativas en ambientes masificados.....	127
Figura 10.4. Aplicación de KoalaBot como asistencia de aparcamiento.....	128
Figura 10.5. Colocación de carteles con dos prototipos.....	129
Figura 10.6. Pompas de jabón.....	129
Figura 10.7. Interior de tubos 1.....	130
Figura 10.8. Interior de tubos 2.....	130
Figura 10.9. Esquema de aplicación de KoalaBot para postes troncoconicos.....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Lista de exigencias del diseño global .....	11
Tabla 2.2. Lista de exigencias del diseño mecánico .....	12
Tabla 2.3. Lista de exigencias del diseño electrónico.....	13
Tabla 2.4. Lista de exigencias del diseño del software .....	14
Tabla 3.1. Ventajas e inconvenientes del resorte a tracción.....	18
Tabla 3.2. Ventajas e inconvenientes del resorte a compresión.....	18
Tabla 3.3. Características de las 3 alternativas de muelle barajadas.....	24
Tabla 5.1. Lista de comandos y funciones del KoalaBot Mini .....	66
Tabla 6.1. Lista de componentes comerciales mecánicos.....	79
Tabla 6.2. Especificaciones técnicas impresora HP.....	81
Tabla 6.3. Especificaciones técnicas impresora Stratasys.....	82
Tabla 6.4. Especificaciones técnicas impresora MakerBot 2x.....	85
Tabla 6.5. Listado de ensamblajes, subensamblajes y piezas del KoalaBot Mini .....	89
Tabla 6.6. Secuencia de montaje de las piezas del KoalaBot Mini.....	92
Tabla 6.7. Secuencia de montaje de los subconjuntos del KoalaBot Mini .....	93
Tabla 6.8. Lista de componentes comerciales electrónicos .....	101
Tabla 7.1. Protocolo de pruebas de carácter mecánico .....	108
Tabla 7.2. Protocolo de pruebas de carácter electrónico.....	110
Tabla 7.3. Protocolo de pruebas del software .....	111
Tabla 7.4. Pruebas del protocolo .....	114





# **1. INTRODUCCION**

El presente proyecto consiste en diseñar un prototipo de carácter mecatrónico de una plataforma robotizada de ascenso y descenso que trabaje sobre postes o tubos de sección circular para asistencia en diferentes actividades realizadas en zonas de elevada altura. Los diferentes subconjuntos de diseño serán fabricados, montados y finalmente implementados físicamente para verificar el correcto funcionamiento del prototipo mecatrónico global.

En este capítulo se procederá a la definición de los objetivos que debe cumplir el diseño del prototipo mecatrónico, así como el alcance del proyecto. Para abordarlo de la manera más eficiente, en primer lugar se presentaran y explicaran los prototipos predecesores que ya fueron objeto desarrollo en otros proyectos previos. Finalmente se realizara una breve descripción de la organización adoptada durante el proyecto y la estructuración de la memoria.

## ***1.1. Peticionario***

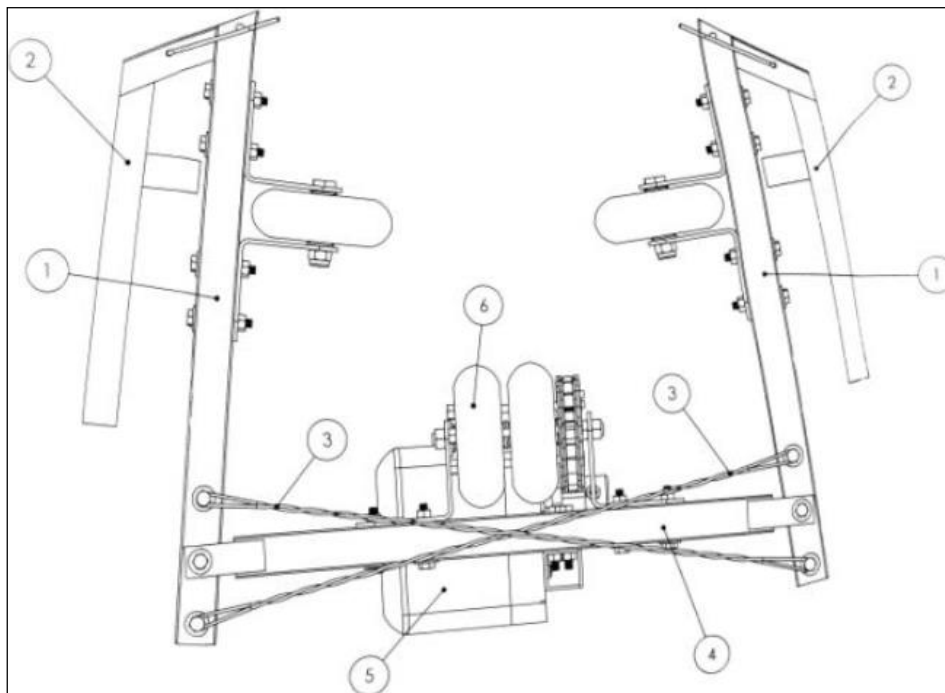
La propuesta de realizar el presente proyecto ha sido desarrollada por José Manuel Sierra Velasco (Área de Mecánica) y Juan Díaz González (Área de Electrónica) como parte de un Trabajo Fin de Máster (TFM) del Máster de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Oviedo (curso 2014/2015). Ambos profesores desempeñarán las tareas propias de tutores académicos en sus respectivas áreas de conocimiento para asegurar la correcta ejecución del presente proyecto mecatrónico.

## ***1.2. Antecedentes del proyecto***

El presente Trabajo Fin de Máster esta precedido por otros proyectos que tenían ya por objeto el diseño de una plataforma robótica para el ascenso a postes, los cuales se pasaran a explicar brevemente en este capítulo con el fin de adquirir ciertos conocimientos previos que permitirán abordar la ejecución del nuevo prototipo de una manera más focalizada y eficiente.

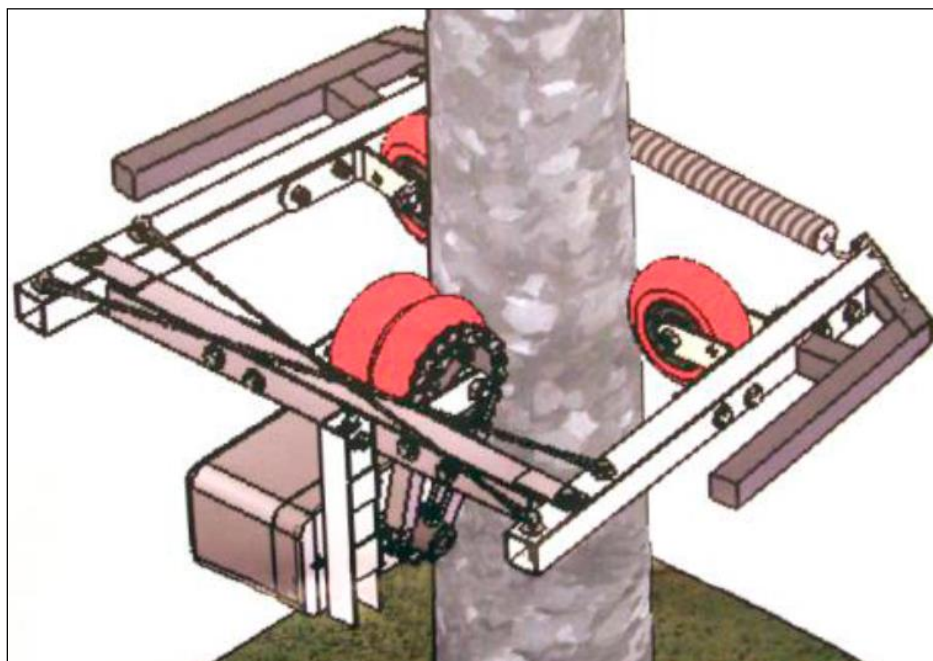
### ***1.2.1. Primer prototipo mecánico***

El primer antecedente conocido del presente trabajo fin de master es un prototipo mecánico diseñado por el alumno Alonso González en el año 2008, como parte de su Proyecto Fin de Carrera de la titulación Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica (Universidad de Oviedo) [1]. Las piezas y componentes principales que constituyen el presente prototipo se ilustran en la figura 1.1.



*Figura 1.1. Vista general del primer prototipo mecánico*

La finalidad de este proyecto consistía en diseñar un modelo funcional de ámbito mecánico que permitiera el ascenso y descenso a través de postes de sección circular. En dicho proyecto se hace hincapié en la sencillez del modelo y en su facilidad de fabricación. Los elementos más destacados de este prototipo mecánico son los tramos rectos de perfil metálico empleados para el diseño del chasis, los tres patines (dos conducidos y uno doble motriz) distribuidos de forma triangular, cuyas ruedas permiten el movimiento del mecanismo y un sistema de tensión-cierre basado en un muelle de colocación manual. El motor solo transmite movimiento a uno de los patines mediante una transmisión de cadena. En la figura 1.2 se muestra el modelado virtual del prototipo diseñado en posición de funcionamiento, acoplado a un poste de sección circular.



*Figura 1.2. Primer prototipo mecánico en posición de funcionamiento*

### 1.2.2. KoalaBot

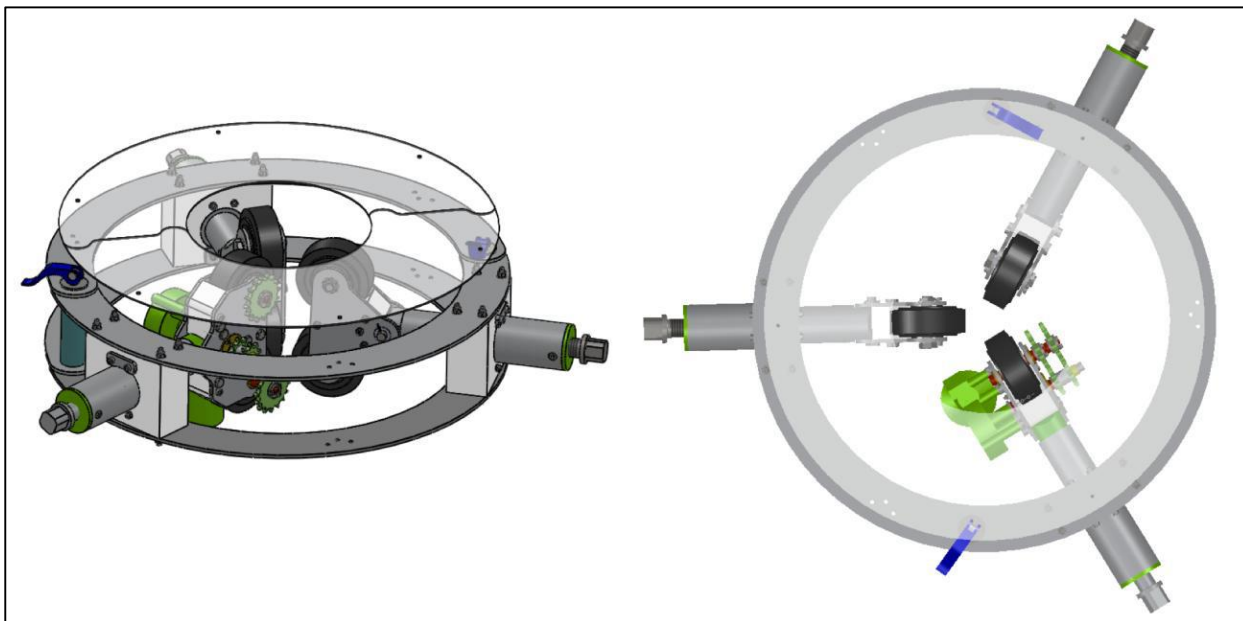
La plataforma robótica de ascenso a postes y captación de datos con control remoto inalámbrico, bautizada como KoalaBot, fue diseñada por el alumno Francisco Álvarez para su Trabajo Fin de Máster (Máster de Ingeniería Mecatrónica), en el año 2010 [2]. Este proyecto tenía por objeto el diseño e implementación de un robot trepador de postes, basándose en el diseño mecánico previo, pero aportándole además capacidad de control inalámbrico desde un mando remoto. El prototipo implementado se puede observar en la figura 1.3.



*Figura 1.3. Prototipo físico del KoalaBot*

El objetivo de este proyecto consistió en diseñar una plataforma genérica que permitiese realizar diferentes tareas en las zonas altas de los postes, donde una persona tendría que utilizar medios más complejos para llegar. Su empleo permitiría reducir el coste de operaciones de mantenimiento en las que, normalmente, se usan equipos más voluminosos que son manejados por varios operarios. Además, el KoalaBot también serviría como plataforma para la colocación de carteles, el mantenimiento de los postes, las luminarias u otros dispositivos acoplados en ellos.

En cuanto al diseño mecánico, el KoalaBot propone algunas mejoras respecto a su predecesor. En este caso la fuerza de las ruedas sobre la superficie del poste no es generada por el sistema de cierre, sino que viene dada por la incorporación de tres brazos tensores (uno para cada rueda), con un muelle de compresión en su interior. Además se optimiza la distribución de los patines sobre la superficie del poste, colocándolos a 120° entre sí tal y como se observa en la figura 1.4.



*Figura 1.4. Diseño de KoalaBot*

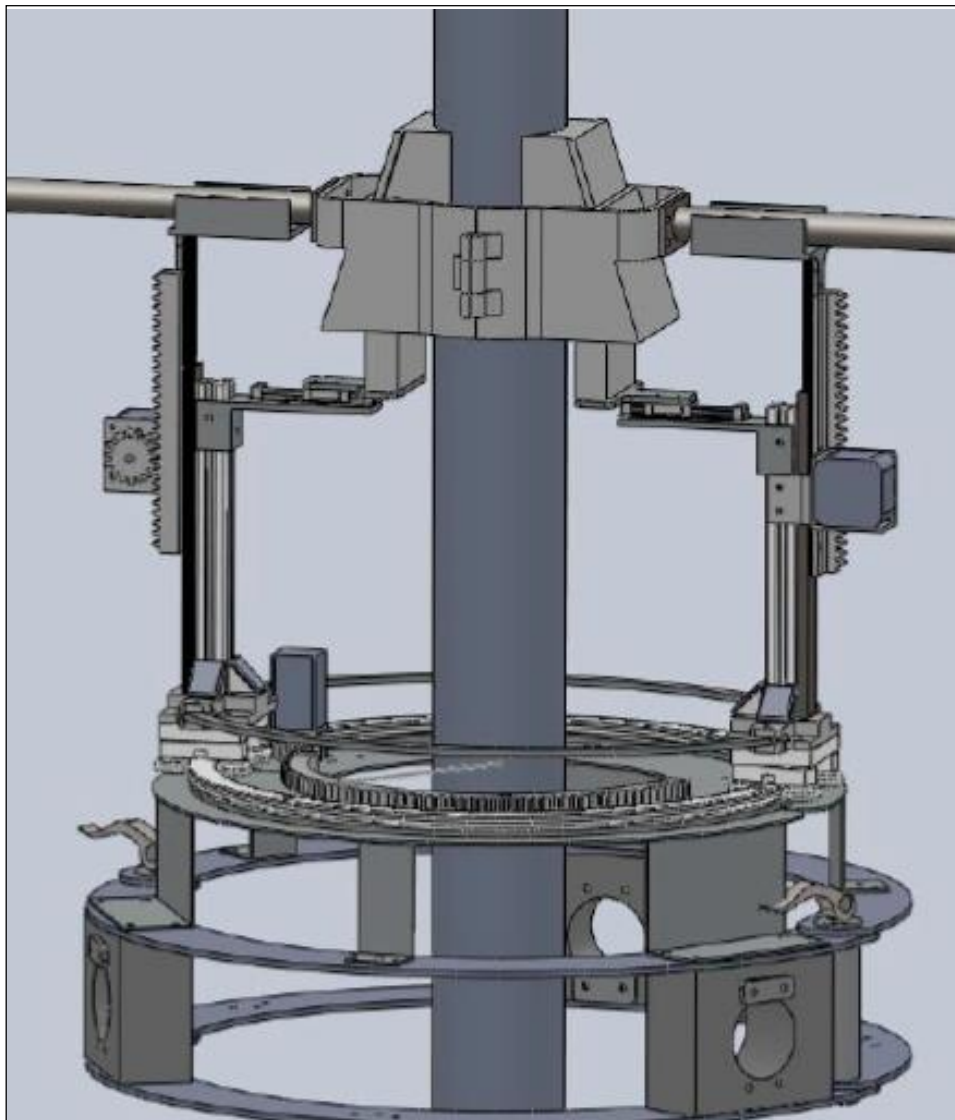
Este prototipo fue galardonado en diversos certámenes de premios de ingeniería, por lo que se decidió patentarlo con el propósito de diseñar nuevos accesorios para poder darle más utilidades y ser comercializado.

### **1.2.3. Prototipos manipuladores para KoalaBot**

El diseño de la plataforma robótica para ascender postes explicada anteriormente, sirvió como punto de partida para la elaboración de otros dos proyectos académicos que tenían por objeto el diseño de accesorios auxiliares que pudieran dotar al KoalaBot original de la capacidad de colocar carteles publicitarios en los postes. La idea de acoplar estos prototipos manipuladores surgió por la necesidad de reducir los costos relativos a la instalación de los mencionados carteles publicitarios, además de mejorar significativamente la seguridad laboral de los operarios encargados de su colocación.

#### **Primera versión**

El primer prototipo diseñado para este fin fue elaborado por un alumno de la Universidad de Oviedo (Fernando Pérez) para la realización de su Proyecto Fin de Carrera de la titulación Ingeniería Técnica Industrial especialidad en Mecánica, en el año 2012 [3]. El modelado del diseño mecánico de esta primera versión se ilustra en la figura 1.5.



*Figura 1.5. Accesorio de colocación de carteles para el KoalaBot (versión 1.0)*

En dicho proyecto se valoraron diversas alternativas de mecanismos para la sujeción de los carteles, se justificó la selección de la solución adoptada y por último se diseñaron los componentes necesarios para incorporar el mecanismo seleccionado al KoalaBot original. Al tratarse de un proyecto de índole mecánica, no se contempló ningún diseño específico para la electrónica o el control automatizado del prototipo.

### **Segunda versión**

Posteriormente se elaboró un diseño mejorado y más completo del accesorio para colocar carteles publicitarios para la plataforma de acceso a postes. Este fue realizado por el alumno Rafael I. Suarez como trabajo fin de master del master de ingeniería mecatrónica de la universidad de Oviedo, el cual fue presentado en el año 2013 [4]. Dicho proyecto dio continuidad al anteriormente mencionado, realizándose para ello un diseño funcional y competente para la colocación de carteles en los postes. El carácter innovador de este proyecto respecto al primer prototipo mecánico reside en que este incorpora además un diseño electrónico y de software, lo que permite manipular y controlar el accesorio de colocación de carteles de manera remota. El diseño del prototipo efectuado en este proyecto se puede observar en la figura 1.6.



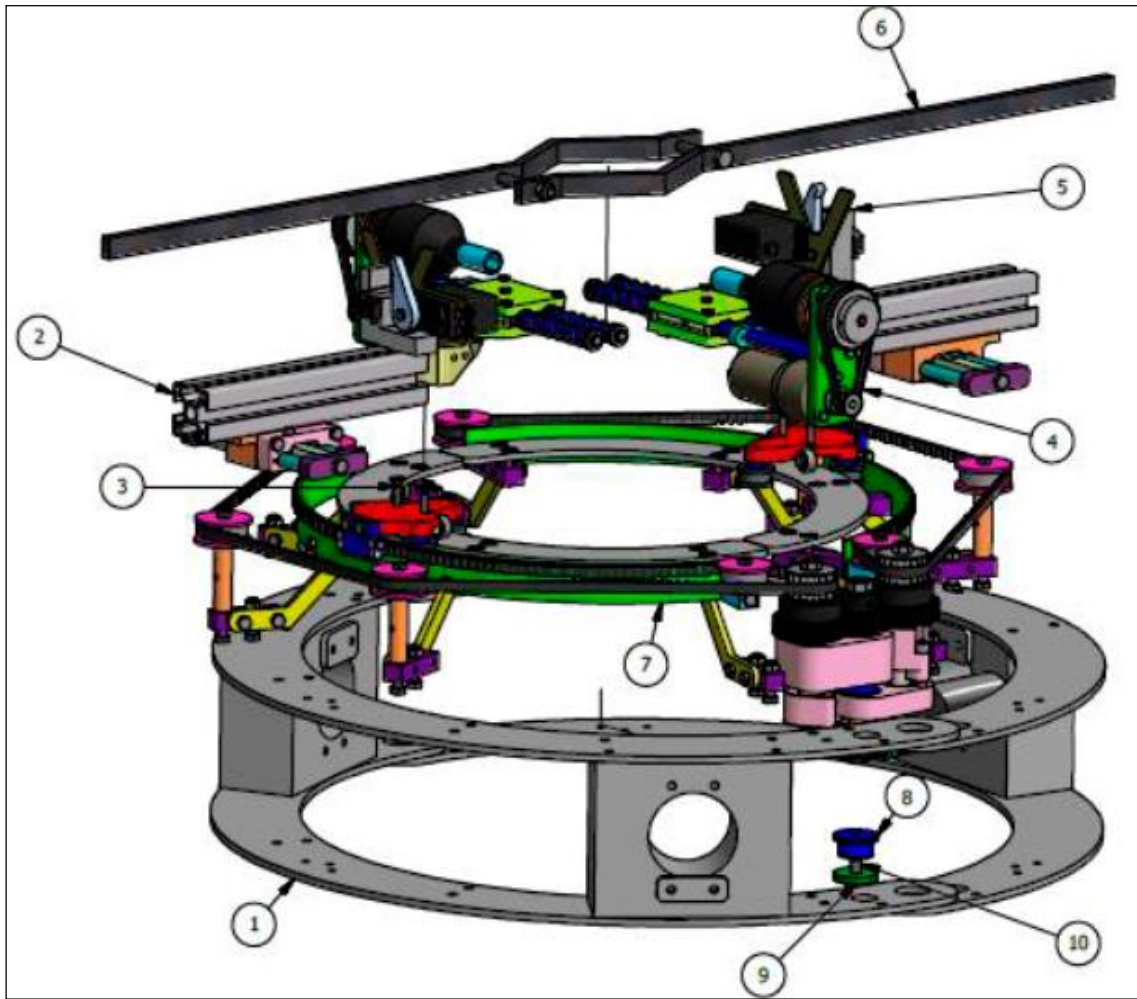


Figura 1.6. Accesorio de colocación de carteles para el KoalaBot (versión 2.0)

### 1.3. Objetivo

El objetivo del presente Trabajo Fin de Máster consiste en el diseño mecatrónico y la implementación física de una nueva versión miniaturizada del conocido robot KoalaBot. El nuevo diseño debe ser más sencillo, ligero (peso total inferior a 1Kg), económico y de un tamaño más reducido que su predecesor. Además debe contar con capacidad de maniobra y autonomía, pudiendo ser empleado fácilmente por una sola persona sin necesidad de asistencia.

Al contrario que el diseño original del KoalaBot que estaba pensado para portar herramientas o útiles de elevado peso y tamaño (peso máx. 250N), la nueva versión Mini no estaría orientada a soportar grandes cargas, salvo la de su propio peso. Dado que el KoalaBot tiene la capacidad de ascender a elevadas alturas, el propósito de este nuevo diseño es aprovechar un punto de observación privilegiado para ejecutar otro tipo de aplicaciones relacionadas con la vigilancia o la captación de datos y emisión de señales de cualquier tipo, como señalizaciones luminosas visibles desde larga distancia o señales de vídeo procedentes de una cámara.

Debido a que el KoalaBot Mini va a estar orientado a trabajar a distancias a las que el operario no puede llegar de forma asequible, en la presente aplicación se requiere la incorporación de un control inalámbrico, ya sea vía Bluetooth o mediante el envío de SMS. De esta manera, el usuario debe tener la posibilidad de gobernar el movimiento de ascenso y descenso del prototipo a través de un dispositivo móvil o tablet.

## ***1.4. Alcance***

El alcance del proyecto incluye la realización de las siguientes fases:

- Planificación de las tareas a realizar y organización de los recursos.
- Estudio de las especificaciones técnicas que debe cumplir el prototipo del KoalaBot Mini a nivel mecatrónico.
- Selección y justificación de las soluciones adoptadas para el diseño del KoalaBot Mini teniendo en cuenta criterios mecánicos, electrónicos y de control.
- Modelado 3D de la estructura mecánica, simulación y elaboración de la documentación técnica necesaria (planos de fabricación, planos de montaje, listas de materiales, etc.) para la posterior implementación física del prototipo.
- Generación del código de programación en C que permita la ejecución automatizada de las funcionalidades básicas del KoalaBot Mini.
- Diseño de la interfaz gráfica y la programación de una aplicación Android específica para que el usuario controle el KoalaBot Mini mediante un dispositivo móvil.
- Diseño, fabricación y montaje del hardware electrónico (PCB) sobre el que se implementará el software de control diseñado.
- Selección de los elementos comerciales mecánicos y electrónicos a integrar en el prototipo.
- Ejecución de protocolo de pruebas para testear el funcionamiento del prototipo físico desde el punto de vista mecánico, electrónico y de control.
- Estudio de la aplicabilidad del prototipo, así como el planteamiento de posibles ampliaciones o nuevas funcionalidades de cara a desarrollos futuros.
- Documentación, presentación y defensa pública del proyecto concluido, además de efectuar una demostración del funcionamiento real del prototipo mecatrónico implementado.

## ***1.5. Organización del proyecto***

En este apartado se muestran las tareas llevadas a cabo a lo largo del desarrollo del presente proyecto con el fin de garantizar el cumplimiento de los plazos establecidos (figura 1.7). Dichas tareas han sido organizadas mediante un Diagrama de Gantt, que permite visualizar de forma general todas las actividades del proyecto en el plazo de tiempo otorgado para su completa realización. En el documento Anexos I - Planificación se adjunta un Diagrama Pert y el mencionado Diagrama Gantt con el transcurso de cada una de las tareas especificadas.



Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
T1. Planificación y Organización de Tareas	10/02/15	13/02/15
T2. Estudio de las Especificaciones de Diseño	16/02/15	24/02/15
T3. Diseño	25/02/15	1/05/15
• T3.1. Diseño Mecánico	25/02/15	23/03/15
• T3.1.1 Estudio de alternativas	25/02/15	27/02/15
• T3.1.2 Modelado del diseño elegido	2/03/15	17/03/15
• T3.1.3 Cálculos Justificativos y Selección de Comp. Comer.	18/03/15	23/03/15
• T3.2. Diseño Electrónico	12/03/15	2/04/15
• T3.2.1 Diseño del Circuito Esquemático	12/03/15	17/03/15
• T3.2.2 Simulación del Circuito	18/03/15	24/03/15
• T3.2.3 Diseño de la PCB	25/03/15	2/04/15
• T3.3. Diseño del Software y Control	3/04/15	1/05/15
• T3.3.1 Desarrollo del Código C	3/04/15	10/04/15
• T3.3.2 Diseño de la App de Control Remoto	13/04/15	23/04/15
• T3.3.3 Implementación Global	24/04/15	1/05/15
T4. Fabricación y Compra	4/05/15	15/05/15
• T4.1. Adquisición de Componentes Comerciales	4/05/15	7/05/15
• T4.2 Fabricación de Piezas Mecánicas	8/05/15	15/05/15
• T4.3 Fabricación de la PCB	8/05/15	8/05/15
T5. Montaje	18/05/15	22/05/15
• T5.1. Montaje Mecánico	18/05/15	20/05/15
• T5.2. Montaje Electrónico	18/05/15	20/05/15
• T5.3. Implementación Global	21/05/15	22/05/15
T6. Test	25/05/15	15/06/15
• T6.1. Protocolo de Ensayos Mecánicos	25/05/15	29/05/15
• T6.2. Protocolo de Ensayos Electrónicos	25/05/15	4/06/15
• T6.3 Protocolo de Ensayos de Software	5/06/15	15/06/15
T7. Documentación Formal	17/02/15	13/07/15
• T7.1. Memoria	17/02/15	13/07/15
• T7.2. Presupuesto	18/05/15	30/06/15
• T7.3 Planos	23/03/15	2/07/15
T9. Presentación pública	14/07/15	23/07/15

Figura 1.7. Listado de tareas del proyecto con su fecha de inicio y fin

## 1.6. Estructura de la documentación

La documentación formal del presente Trabajo Fin de Máster está estructurada de la siguiente manera:

- **Introducción:** Se explica de forma general el propósito del presente trabajo, así como su objeto y alcance. También se mencionará una breve reseña de los antecedentes y trabajos previos del actual proyecto. Por otro lado, se especifica la planificación del proyecto y su estructuración.
- **Especificaciones Técnicas:** Se recogen las condiciones de diseño que debe cumplir el prototipo mecatrónico global, así como de sus correspondientes subsistemas, incluyendo para ello listas de exigencias del diseño mecánico, electrónico y de control.

- **Diseño Mecánico, Diseño Electrónico y Diseño de Control:** En estos capítulos se explica el diseño del prototipo mecatrónico llevado a cabo en el presente proyecto en cada una de las áreas del conocimiento que abarca.
- **Implementación Física del Prototipo:** Se procede a explicar en detalle todo el proceso de fabricación y montaje del prototipo real, tanto a nivel parcial como a nivel de implementación global.
- **Protocolo de Pruebas y Rediseño:** Tras la implementación física del diseño del prototipo, se procede a la evaluación de su correcto funcionamiento y a la correspondiente fase de rediseño en el caso de que no se cumpla algunas de las especificaciones técnicas requeridas en la fase inicial del proyecto.
- **Conclusiones:** Una vez finalizado el proyecto, se recogen los principales puntos a destacar tras el diseño e implementación global del KoalaBot Mini.
- **Estudio de Aplicabilidad y Desarrollos Futuros:** Se mencionan posibles aplicaciones del presente prototipo, así como posibles ampliaciones de cara a trabajos futuros que se dediquen a explotar la potencialidad del KoalaBot.
- **Presupuesto:** Se muestra un desglose global del coste total del proyecto dividido en sus diferentes costes parciales, así como el coste de fabricación de los diferentes prototipos llevados a la implementación real.
- **Planos:** Se recogen los diferentes planos necesarios para la fabricación del prototipo mecatrónico, incluyendo planos mecánicos y planos electrónicos.



## 2. ESPECIFICACIONES TECNICAS

En el presente capítulo se mostraran las diferentes especificaciones técnicas que debe cumplir prototipo del KoalaBot Mini para cada uno de los subsistemas a desarrollar en el presente proyecto.

### 2.1. De carácter general

Las condiciones de diseño de carácter general del KoalaBot Mini se recogen a continuación en forma de lista de exigencias. El desarrollo del prototipo se llevó a cabo en base a las exigencias (E) y deseos (D) expuestos en la tabla 2.1.

Especificaciones Técnicas Generales		
Nº	Categoría	Descripción
01.01	E	Capacidad de mantenerse en el poste en estado de reposo
01.02	E	Capacidad de ascender/descender por un poste de sección circular
01.03	E	Fabricación del prototipo sencilla
01.04	E	Montaje global sencillo
01.05	E	Transportable por una persona
01.06	E	Colocación en el poste sencilla
01.07	E	Operar en postes de 40 mm de diámetro
01.08	E	Tiempo de puesta en marcha menor a 1 minuto
01.09	E	Velocidad de ascenso no inferior a 3 m/min
01.10	E	Peso del prototipo inferior a 1 Kg
01.11	E	Volumen minimizado
01.12	E	Materiales y componentes económicos
01.13	E	Control inalámbrico del prototipo
01.14	E	Gobierno desde dispositivos móviles o tablets
01.15	E	Accionamiento eléctrico por cable
01.16	E	Aplicación Android específica para su utilización
01.17	E	Alimentación autónoma (baterías)
01.18	D	Adaptable para distintos diámetros de tubo
01.19	D	Materiales y componentes reciclados
01.20	D	Resistencia a condiciones atmosféricas severas
01.21	D	Incorporación de accesorios auxiliares
01.22	D	Diseño global estético y original

Tabla 2.1. Lista de exigencias del diseño global

## 2.2. De carácter específico

En el presente apartado se recogen las condiciones de diseño relativas a cada subsistema que compone el prototipo mecatrónico global.

### 2.2.1. Mecánicas

En la tabla 2.2 se recogen la lista de exigencias que el KoalaBot Mini debe cumplir a nivel del diseño mecánico.

Especificaciones Técnicas Específicas - Mecánicas		
Nº	Categoría	Descripción
02.01	E	Fabricación de piezas sencilla
02.02	E	Secuencia de montaje sencilla
02.03	E	Número reducido de piezas
02.04	E	Diseño mecánico de dimensiones reducidas
02.05	E	Diseño de mecanismos sencillos (bisagra, cerradura, tensor)
02.06	E	Estructura estática y dinámica estable
02.07	E	Tracción sobre el poste mediante ruedas
02.08	E	Mecanismo fácil de acoplar y desacoplar al poste
02.09	E	Desmontaje y mantenimiento mecánico sencillo
02.10	E	Empleo de materiales ligeros
02.11	E	Selección del motor DC por su relación "prestaciones-volumen"
02.12	E	Soporte mecánico para montar el hardware electrónico
02.13	D	Diseño de carcasa protectora
02.14	D	Mecanismo silencioso
02.15	D	Sistema de seguridad mediante finales de carrera
02.16	D	Tracción en todas las ruedas
02.17	D	Diseño fácilmente escalable

Tabla 2.2. Lista de exigencias del diseño mecánico

### 2.2.2. Electrónicas

En la tabla 2.3 se ofrece un listado de las exigencias que el prototipo debe satisfacer desde el punto de vista del diseño electrónico.

Especificaciones Técnicas Específicas - Electrónicas		
Nº	Categoría	Descripción
03.01	E	Diseño del hardware basado en una PCB
03.02	E	Diseño reducido y optimizado de la PCB
03.03	E	Control mediante un microcontrolador
03.04	E	Uso de motor DC
03.05	E	Velocidad y sentido de giro del motor regulables
03.06	E	Comunicación inalámbrica mediante Bluetooth
03.07	E	Posibilidad de reseteo mediante un pulsador externo
03.08	E	Alimentación no superior a 15V
03.09	E	Conjunto hardware ligero, pequeño y compacto
03.10	E	Diseño fácilmente configurable y ampliable
03.11	E	Elementos electrónicos protegidos y asegurados
03.12	E	Componentes electrónicos económicos
03.13	E	Empleo de baterías recargables
03.14	D	Fácil acceso a las baterías
03.15	D	Autonomía eficiente de las baterías
03.16	D	Sistema de seguridad mediante sensores
03.17	D	Sistema de aviso/señalización mediante LEDs
03.18	D	Incorporación de una cámara
03.19	D	Incorporación de una unidad Pan&Tilt

*Tabla 2.3. Lista de exigencias del diseño electrónico.*

### 2.2.3. Control/Software

En la tabla 2.4 se pueden observar las exigencias de obligatorio cumplimiento, así como los deseos o especificaciones menos restrictivas requeridas para el diseño del control o software del KoalaBot Mini.

Especificaciones Técnicas Específicas - Software		
Nº	Categoría	Descripción
04.01	E	Diseño del programa principal para el PIC
04.02	E	Programación del PIC en lenguaje C
04.03	E	Programa de estructura sencilla
04.04	E	Modo de control manual
04.05	E	Control del arranque y parada del prototipo
04.06	E	Control de la velocidad del motor mediante PWM
04.07	E	Control del sentido de avance del motor
04.08	E	Control de la longitud de ascenso/descenso
04.09	E	Programa fácilmente reconfigurable y ampliable
04.10	E	Conectar/desconectar desde el mando remoto
04.11	E	Control remoto inalámbrico
04.12	E	Control mediante dispositivos móviles
04.13	D	Diseño de una app propia (Android) para el control remoto
04.14	D	Diseño del programa auxiliar para la app de control remoto
04.15	D	Diseño de la interfaz gráfica de la app de control remoto
04.16	D	Diseño estético, moderno y ergonómico de la interfaz grafica
04.17	D	Modo de control automático
04.18	D	Control de operación temporizado
04.19	D	Secuencias preprogramadas de encendido y apagado de LEDs

*Tabla 2.4. Lista de exigencias del diseño del software*

### 3. DISEÑO MECÁNICO

En este capítulo se detalla cómo ha sido realizado el diseño mecánico del sistema. Se describen las alternativas de diseño valoradas, los cálculos en los que está basado su funcionamiento, así como la selección de materiales y componentes comerciales. Para el diseño mecánico se ha utilizado el software de diseño SolidWorks. Se trata de un paquete de modelado mecánico en 3D con capacidades de simulación y cálculo por elementos finitos.

En primer lugar se han desarrollado distintas alternativas para el prototipo, se ha realizado su modelado 3D de forma simplificada y se ha elegido aquella que mejor cumple con los criterios marcados en el capítulo anterior. A continuación se han realizado los cálculos pertinentes para la elección de los componentes comerciales, tales como los muelles o el motor. Conocidos los requisitos mecánicos de cada pieza se ha realizado la selección de los materiales y por consiguiente se ha adecuado el diseño de cada una de ellas a su material y proceso de fabricación.

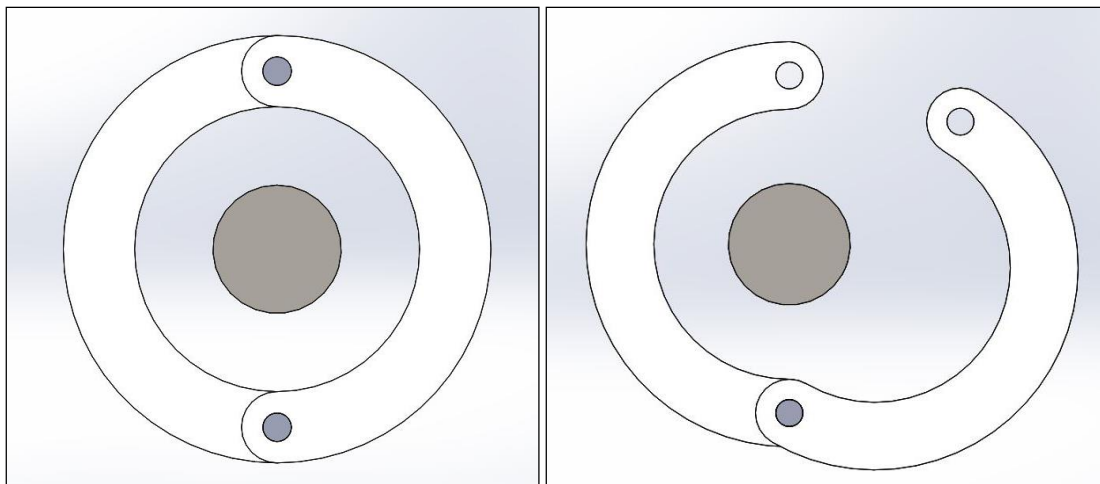
El diseño mecánico se trata de un proceso iterativo, a través del cual se ha llegado al diseño final del prototipo a partir de unos datos de partida teóricos, efectuando los cálculos pertinentes para determinar las especificaciones que deben cumplir los componentes comerciales, realizando la elección de los mismos y ajustando el diseño mecánico en función de sus propiedades y especificaciones técnicas.

#### 3.1. Alternativas de diseño

Para la búsqueda de posibles diseños del mecanismo se han tenido en cuenta las especificaciones descritas en el capítulo anterior. En primer lugar se ha tenido en cuenta que el prototipo debe ascender por el exterior de una superficie cilíndrica de diámetro exterior 40 mm y si es posible, se permitirá que el diámetro del tubo sea variable.

Durante todo el diseño se ha recordado que el centro de masas del prototipo debe coincidir con el centro del poste para evitar la generación de momentos y por consiguiente el cabeceo del prototipo.

El prototipo debe permitir la colocación en el poste de manera sencilla, por lo que se ha decidido que el mecanismo de apertura sea articulado por un lado y libre por el otro para permitir su fácil apertura y cierre. Pueden existir varios mecanismos para cumplir esta función, la idea se representa en la figura 3.1.



*Figura 3.1. Sistema de apertura y cierre*



Para su correcta estabilidad se ha establecido la necesidad de implementar tres brazos en contacto con el poste colocados a  $120^\circ$ . Cada brazo dispondrá de por lo menos dos ruedas, aumentando el número si se requiere más adherencia. Se contemplará la posibilidad de que dichos brazos puedan adaptarse a distintos diámetros de poste además del obligado en las especificaciones de 40 mm.

Determinadas estas características se procede a buscar el mecanismo que ejerza la fuerza de sujeción necesaria en los apoyos, presionando las ruedas contra el poste tal como se puede ver en la figura 3.2.

Se debe una aplicar una fuerza  $F$  en cada apoyo de manera que la fuerza de rodadura generada en las ruedas contrarreste como mínimo el peso total del prototipo para asegurar el equilibrio estático del prototipo implementado sobre el poste. El valor de dicha fuerza será calculado en próximos apartados.

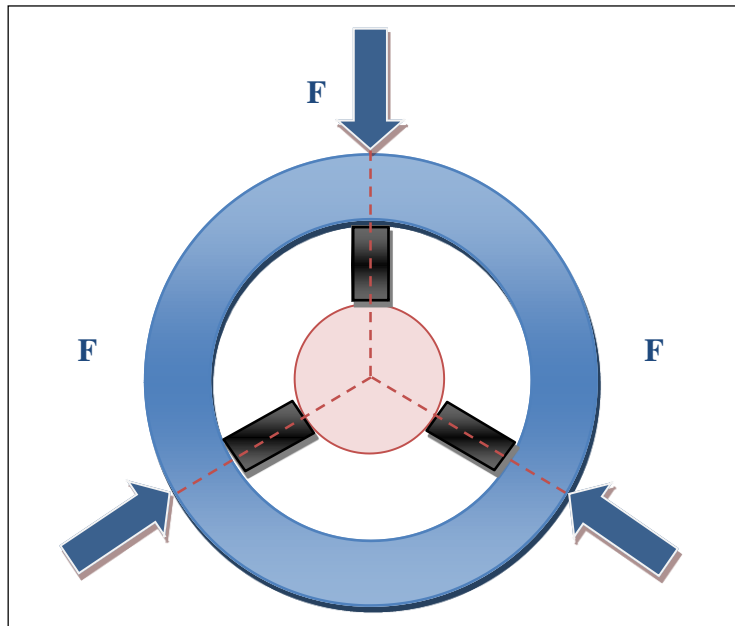


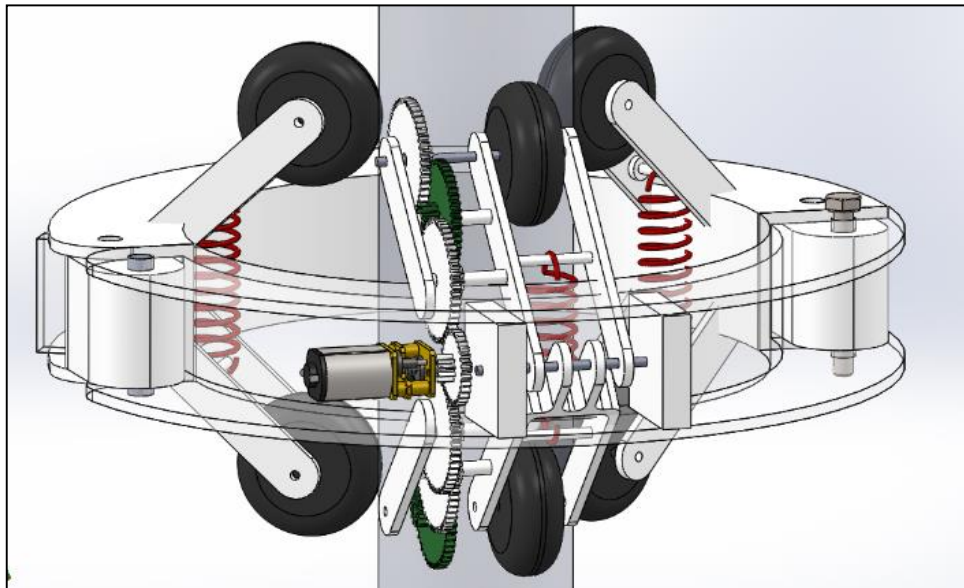
Figura 3.2. Esquema del diseño con tres brazos de apoyo

Se han valorado distintas opciones para ejercer la fuerza necesaria. Se han desarrollado dos de ellas en ellas en profundidad para después elegir la más adecuada. En ambas se ha utilizado un resorte para ejercer dicha fuerza.

### 3.1.1. Resorte a tracción

Esta primera alternativa se basa en el uso de resortes a tracción. Cuando se posiciona el prototipo en el poste se produce el alargamiento de los resortes, produciéndose una fuerza vertical. Dicha fuerza se transmite a partir de los brazos a las ruedas y ejerce la fuerza necesaria para la sujeción del conjunto.

Como se puede ver en la figura 3.3 se ha diseñado una transmisión mecánica con engranajes de ABS reciclados de otros mecanismos. En este diseño por tanto tendríamos de dos ruedas motrices y 4 conducidas. Con este diseño, los brazos podrían adaptarse a diámetros mayores y menores simplemente aumentando o disminuyendo el ángulo que forman entre ellos.

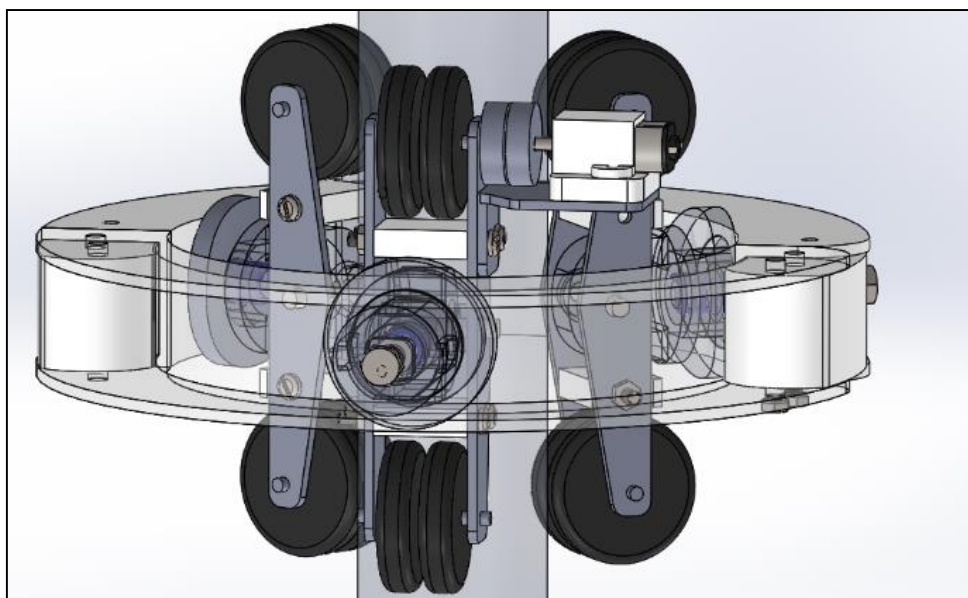


*Figura 3.3. Diseño resorte a tracción*

El sistema puede adaptarse a diámetros mayores y menores aumentando o disminuyendo el ángulo que forman entre ellos los brazos. Los límites de variación del diámetro del poste vendrían dados por las características del resorte, ya que los brazos deben estar separados una distancia que permita al resorte ejercer la fuerza necesaria de sujeción.

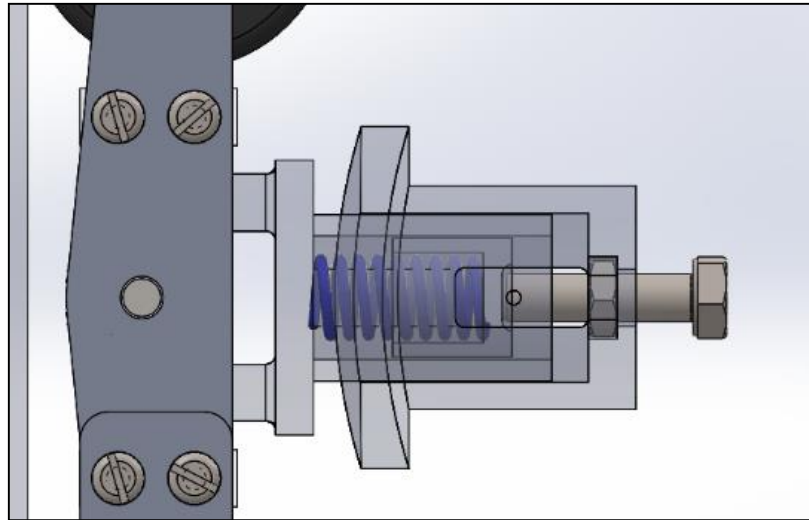
### **3.1.2. Resorte a compresión**

Esta alternativa tiene un mecanismo similar al KoalaBot original. En este sistema se comprimen los muelles y dicha fuerza se aplica directamente a las ruedas. La fuerza en el muelle se produce con el avance de los tornillos situados en los extremos de cada brazo. En la figura 3.4 podemos observar no hay transmisión mecánica por lo que solo hay un par de ruedas conductoras y el resto de ellas son conducidas. Además, los brazos son telescópicos, es decir, pueden aumentar o disminuir su longitud ajustándose así a diámetros de postes mayores o menores.



*Figura 3.4. Diseño muelle a compresión*

En la figura 3.5 se puede ver en detalle del brazo telescópico, formado por tres piezas que tensan el muelle junto con una tuerca y un tornillo.



*Figura 3.5. Detalle brazo telescópico*

### 3.2. Valoración y solución adoptada

Dadas las dos opciones anteriores se ha procedido a enumerar en las tablas 3.1 y 3.2 las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas teniendo en cuenta las especificaciones enumeradas en el capítulo 2 Especificaciones técnicas.

Resorte a tracción	
Ventajas	Inconvenientes
Mayor número ruedas motrices	Elevado número de piezas
	Dificultad de montaje
	Pérdida de esfuerzos

*Tabla 3.1. Ventajas e inconvenientes del resorte a tracción*

Resorte a compresión	
Ventajas	Inconvenientes
Mayor facilidad de adaptación a diámetros	Geometría compleja
Montaje sencillo	
Menor resistencia requerida en las piezas	

*Tabla 3.2. Ventajas e inconvenientes del resorte a compresión*

Observando dichas valoraciones se ha elegido la segunda alternativa, ya que la geometría compleja de las piezas no significaría un problema dada la disponibilidad de una impresora 3D para fabricar las piezas del prototipo.

Las ventajas encontradas han sido determinantes. Los brazos telescópicos permiten mayor variación de diámetros del poste diseñando brazos con mayor rango de variación. Además, el montaje resulta más sencillo en el resorte a compresión. Por último se ha observado que las piezas en la segunda opción están sometidas a esfuerzos menores, por tanto, necesitarán menor resistencia de los materiales y se podrá abordar la fabricación de piezas más ligeras.

### 3.3. Cálculos justificativos

Como se ha dicho en el apartado anterior, se debe aplicar una fuerza  $F_m$  en cada brazo, como vemos en la figura 3.6. Con el diseño finalmente adoptado, dicha fuerza será ejercida a las ruedas mediante resortes a compresión.

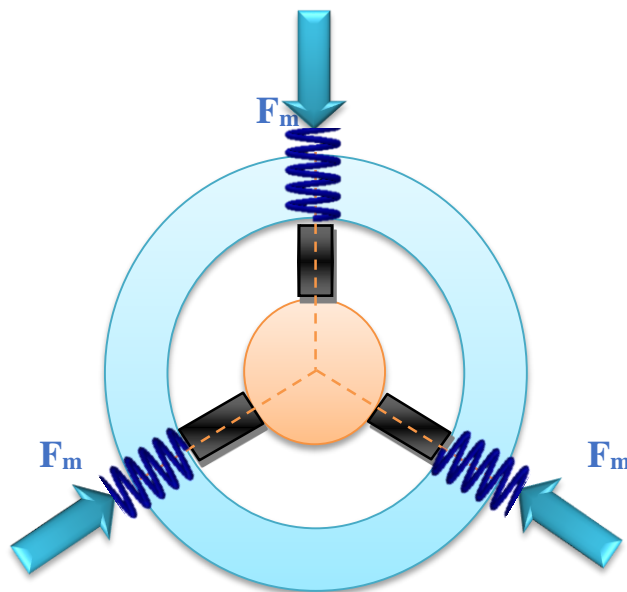


Figura 3.6. Esquema del diseño con muelles a compresión

Realmente, la distribución ideal de este mecanismo consistiría en tener 4 ruedas o conjuntos motrices separados a  $90^\circ$ , siendo dos de ellos motrices, como se puede observar en las figuras 3.7 y 3.8. Los dos brazos motrices se situarían enfrentados entre sí, al igual que los otros dos conjuntos de sustentación entre ellos. De esta forma se obtendría un sistema simétrico totalmente equilibrado, ideal para que la superficie superior del chasis del prototipo subiera paralela a la sección del poste sin posibilidad de cabeceo.

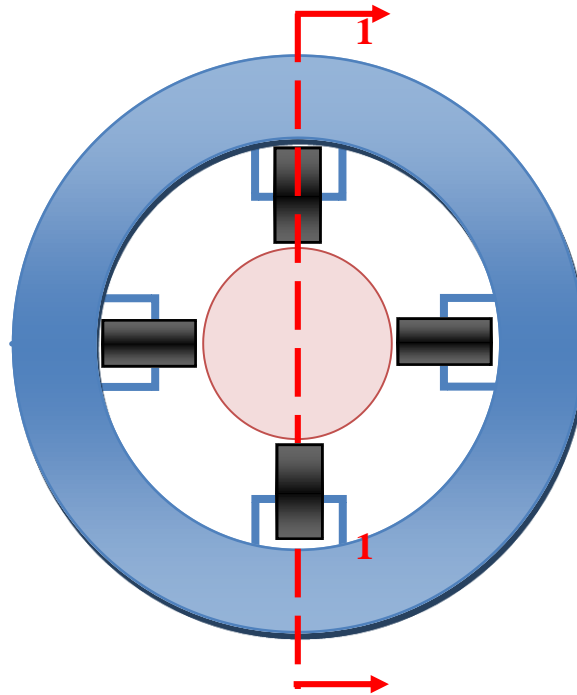


Figura 3.7. Cuatro brazos a 90°

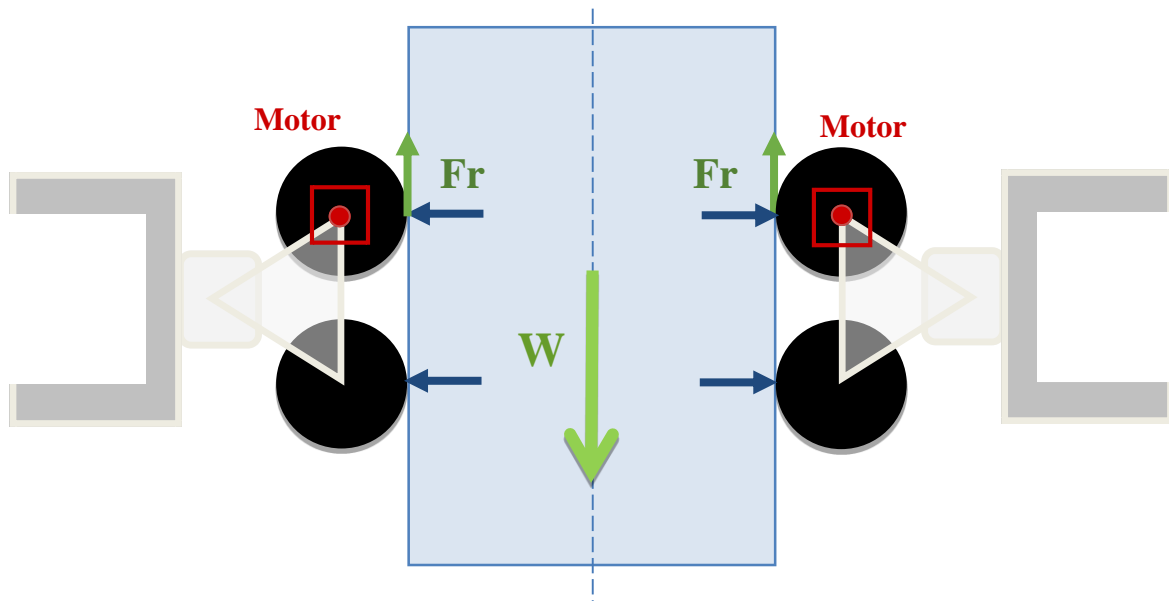


Figura 3.8. Sección 1-1. Esquema del mecanismo ideal.

La condición de equilibrio estático por sustentación y movimiento a velocidad constante es la siguiente:

$$2Fr = W$$

Sin embargo, la idea inicial de emplear 4 patines a 90° estaría condicionada por la posibilidad de conseguir una correcta sincronización de los dos motores para que ambos funcionaran al mismo tiempo y asegurar así el ascenso totalmente simétrico del KoalaBot Mini a través del poste. Dado que esta idea no solo complicaría el diseño mecánico del prototipo sino que también haría más complejo

el diseño electrónico y de software para poder sincronizar los motores perfectamente, se ha decidido descartar esta opción en detrimento de la opción de tres conjuntos de rodámenes a 120° y un único conjunto motriz, como se puede observar en la figura 3.9.

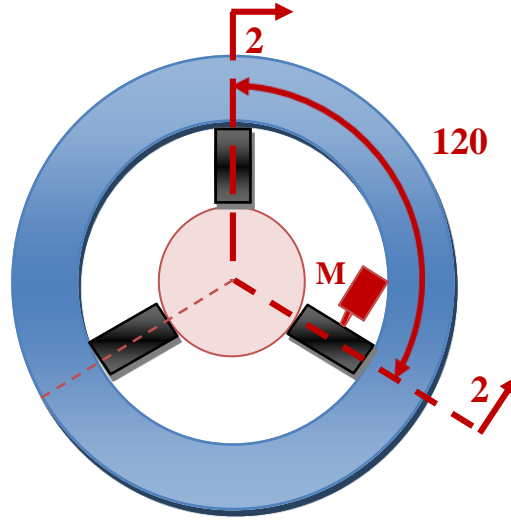


Figura 3.9. Diseño con 3 brazos dispuestos a 120°

Si bien es cierto que en este diseño el sistema de fuerzas no está equilibrado al tener un único conjunto de rodamen motriz, lo que puede provocar que el prototipo cabecee parcialmente mientras asciende (subiendo el brazo motriz por delante de los otros dos conjuntos de ruedas conducidas o ruedas locas), se ha seleccionado esta opción con el fin de asegurar la ligereza y la sencillez del diseño mecatrónico global requerida en las especificaciones de diseño iniciales. Además, la experiencia previa con el KoalaBot original mostró que el sistema de sustentación adoptado funciona correctamente. En la figura 3.10 se puede ver la vista en sección de este modelo.

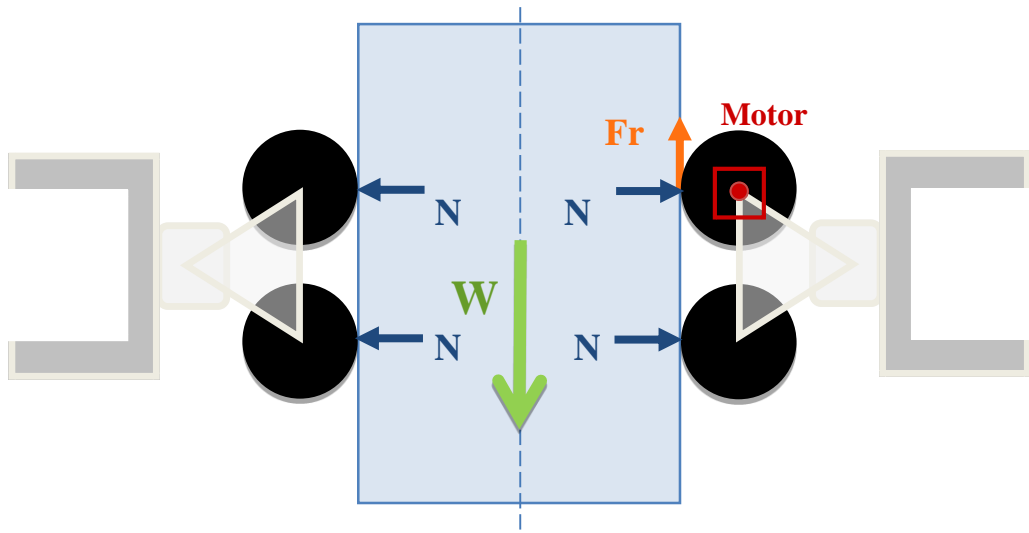


Figura 3.10. Esquema mecanismo brazos a 120°

La condición de equilibrio estático para garantizar la sustentación viene dada por:

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow Fr = W$$

Respecto al coeficiente de fricción goma-poste,  $\mu$ , se ha supuesto de 0,4. No se conoce realmente dicho coeficiente, pero por la consulta bibliográfica realizada, se entiende que no debería ser menor de 0,4, valor que tomaremos de referencia para nuestros cálculos de predimensionado.

Se ha considerado que el peso del KoalaBot Mini es de aproximadamente 350 g, y con un margen de 150 g para accesorios futuros. Por tanto, se ha dimensionado el resorte necesario a un peso máximo de 500 g.

Estimamos la normal sobre la rueda motriz que equilibra el peso como:

$$0,2xN = Fr = W = 500g = 5N$$

De donde:

$$N = \frac{W}{\mu} = \frac{5}{0.4} = 12.5 N$$

Esta será la mitad de la fuerza mínima que ha de ejercer el resorte sobre el patín motriz, que tiene dos ruedas, pero solo una motriz. Por diseño probaremos ejerciendo en cada patín la misma fuerza con el resorte.

$$F_{MIN} = 12.5 \times 2 = 25 N.$$

Los resortes no ejercerán la misma fuerza en los tres patines, pues el sistema de tensión utilizado, aunque resulta efectivo, es de difícil regulación y no lo puede garantizar.

Por otro lado, el hecho de que solo una rueda sea motriz tiende a hacer que el KoalaBot no suba por el poste de manera uniforme. Este efecto debido al desequilibrio propio del diseño elegido, aminora al aumentar la tensión en los resortes, pero ésta tiene también un efecto perjudicial, ya que aumentará la resistencia a la rodadura, crítico en la elevación y por lo tanto en los requerimientos de potencia del motor.

La fuerza resistente a la rodadura viene influenciada en general por factores tales como el diámetro de la rueda, el diámetro del eje o el sistema de apoyo entre el eje y el bastidor (casquillos, rodamientos), etc.

En algunos tipos de máquinas bien conocidas, se puede estimar con suficiente aproximación. En esta aplicación, consideraremos de modo aproximado una fuerza resistente a la rodadura,  $F_{RR}$  definida por:

$$F_{RR} = 0.05 \times N$$

Dicha fuerza en cada rueda, por tanto, es proporcional a la carga normal sobre sí misma.

### **3.3.1. Cálculo del motor**

#### **Potencia de accionamiento**

Para el cálculo de la potencia de accionamiento requerida para la selección del motor se consideran como datos de partida las siguientes:

- Peso del KoalaBot Mini = 5 N
- Velocidad elevación = 20 m/min = 0.333 m/s
- 3 pares de ruedas de apoyo situadas a 120° de 32 mm de diámetro.
- Fuerza de compresión mínima del resorte = 25 N
- Fuerza mínima sobre la rueda motriz = 12.5 N

$$F_{RT} = W + 6 \times 0.035 \times 12.5 = 7.63 \text{ N}$$

$$Potencia = \frac{F_{RT} \times V}{\eta} = \frac{7.63 \times 0.333}{0.8} = 3.18 \text{ W}$$

$$N = \frac{M \times n}{9550}$$

Para los siguientes cálculos se adopta un valor de 0.016 m de radio, ya que las ruedas utilizadas tienen un diámetro de 32 mm.

$$n_{RUEDA} = \frac{20 \text{ m}}{\text{min}} \frac{1 \text{ rev}}{\pi \times 0.016} = 198.9 \text{ rpm}$$

$$\text{Par estático } M_R = F_R \times R = 5 \times 0.016 = 0.08 \text{ Nm}$$

$$N = \frac{M \times n}{9550} = \frac{0.08 \times 198.9}{9550} = 0.0017 \text{ kW} = 1.7 \text{ W}$$

Considerando además la resistencia a la rodadura:

$$F_{RT} = 7.63 \text{ N} \rightarrow M = 7.63 \times 0.016 = 0.122 \text{ Nm}$$

$$N = \frac{M \times n}{9550} = \frac{0.122 \times 198.9}{9550} = 0.00254 \text{ kW} = 2.54 \text{ W}$$

$$\text{Si } \eta = 0.80 \rightarrow N = 3.18 \text{ W}$$

En el caso del descenso, el peso y la resistencia a la rodadura son opuestos, por lo que la potencia requerida por el motor disminuirá.

$$N_{Descenso} = \frac{(7.63 - 5) \times 0.33}{0.80} = 1.09 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta todos los cálculos realizados se establecen las especificaciones del motor más restrictivas. Por tanto:



$$\textbf{Potencia requerida} = 3.18W$$

$$\textbf{Par requerido} = 0.12 Nm$$

De entre los motores comerciales, se seleccionó uno que cumpliera los requerimientos anteriores. El motor elegido tiene las siguientes características:

$$\textbf{Potencia motor} = 5.9 W$$

$$\textbf{Par motor} = 0.28 Nm$$

Para un análisis más detallado del modelo de motor finalmente seleccionado, consultar el apartado Selección de componentes comerciales.

### 3.3.2. Resorte a compresión

Para la elección del muelle comercial se establecieron una serie de limitaciones dadas por la geometría del prototipo.

El diámetro exterior del muelle debe ser menor que 14 mm y su longitud libre debe ser menor de 30 mm para encontrarse en reposo dentro del alojamiento tensor. Teniendo en cuenta estas características se han elegido tres muelles.

En la tabla 3.3 figuran los resortes escogidos con sus características técnicas dadas por el fabricante. Como se ha calculado en apartados anteriores el muelle debe ejercer una fuerza de 25 N para la sujeción del prototipo, por lo que se ha calculado la longitud de funcionamiento del resorte para dicha fuerza.

	<b>D<sub>Exterior</sub></b> (mm)	<b>D<sub>Alambre</sub></b> (mm)	<b>K</b> (N/mm)	<b>F<sub>Max</sub></b> (N)	<b>L F<sub>Max</sub></b> (mm)	<b>L<sub>Reposo</sub></b> (mm)	<b>L<sub>Func</sub></b> (25N)
1	9.25	1.25	8.92	102.6	10.5	22	19.2
2	9	1	2.33	33.1	14.3	28.5	17.7
3	11.25	1.25	4.51	84.3	10.8	29.5	23.9

*Tabla 3.3. Características de las 3 alternativas de muelle barajadas*

Tras la comparación de los distintos resortes se ha escogido el resorte número 2 por ser el de menor longitud de funcionamiento y menor diámetro externo (para una información más detallada del resorte consultar el apartado Selección de componentes comerciales). Esto permitirá que el tamaño del alojamiento tensor sea menor, así se ahorrará material y se el peso total será menor.

Una vez elegido dicho resorte, se modificó el diseño geométrico del tubo tensor para las longitudes de funcionamiento del resorte. Se tendrá en cuenta para el resto de los cálculos que la fuerza máxima que puede llegar a dar el resorte es de 33 N.

### 3.3.3. Eje de las ruedas

El eje de las ruedas conducidas se encuentra sometido a flexión. Como caso más desfavorable se adopta la fuerza máxima que puede llegar a producir el resorte, que es de 33 N. Por tanto a cada eje le llegaría la mitad de esa fuerza. El estado tensional sería el ilustrado en la figura 3.11:

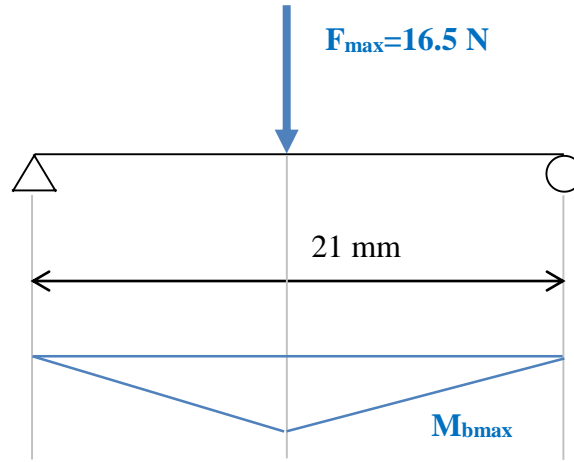


Figura 3.11. Estado tensional del eje

El momento flector máximo,  $M_{bmax}$ , se define como:

$$M_{bmax} = 16.5 \text{ N} \times \frac{21 \text{ mm}}{2} = 173.25 \text{ Nmm}$$

El material del eje es el acero AISI 304 y se sabe que su resistencia  $\sigma_{bw}=620 \text{ MPa}$ , siendo el factor de seguridad entre 4 y 6, tomando 5,

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{bw}}{5} = \frac{620 \text{ MPa}}{5} = 124 \text{ MPa}$$

El diámetro del eje, por tanto, debe ser mayor que:

$$d = 2.17 \times \sqrt[3]{\frac{M_{bmax}}{\sigma_b}} = 2.17 \times \sqrt[3]{\frac{173.25 \text{ Nmm}}{124 \text{ MPa}}} = 2.42 \text{ mm}$$

Por tanto, el eje escogido para las ruedas ha sido de 3 mm.

### 3.3.4. Eje patín

El eje del patín está apoyado en la pieza tensor y en los puentes. Su diámetro es de 4 mm. Dos de sus secciones están sometidas a cortadura. Como se ha dicho, la fuerza máxima del resorte es de 33 N y, por tanto, la fuerza máxima para cada una de ellas será de 16.5 N. El esfuerzo de cortadura al que están sometidas es de:

$$\tau = \frac{16.5}{\frac{\pi x 4^2}{4}} = 1.31 \text{ MPa}$$

Estimando que la tensión admisible a cortadura es,  $\tau_{adm} = 0.57\sigma_y$  y que el material del eje del patín es acero AISI 304 con  $\sigma_y = 310 \text{ MPa}$ , el factor de seguridad a fluencia es de:

$$Ny = \frac{\tau_{adm}}{\tau} = \frac{176.7 \text{ MPa}}{1.31 \text{ MPa}} = 139$$

Dicho factor es extremadamente alto dado que los esfuerzos son muy pequeños en comparación con la resistencia del material.

### 3.3.5. Puente

La pieza denominada puente está sometida a la fuerza que recibe del resorte. Como se puede ver en la figura 3.12. Se le ha dado la forma de viga isorresistente, de modo que en la zona central donde se aplica la fuerza del resorte, que tendría el momento flector de sollicitación máximo, corresponda con el momento resistente máximo de la sección.

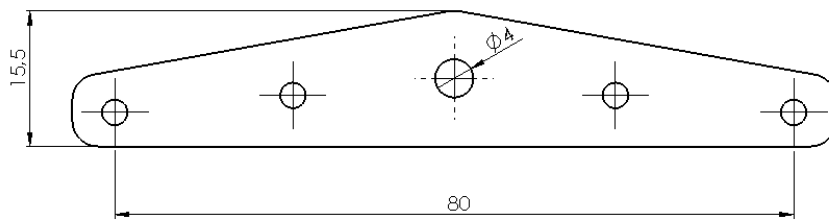


Figura 3.12. Dimensiones del puente conducido

A partir de la figura anterior, y sabiendo que el espesor de la pieza es de 1.2 mm, podemos calcular el momento resistente a flexión,  $W_{bx}$ ,

$$W_{bx} = \frac{bh^2}{6} = \frac{1.2 \times 11.5^2}{6} = 26.45 \text{ mm}^3$$

Teniendo en cuenta que la fuerza máxima del resorte es de 33 N, a cada puente le llega la mitad de la fuerza, por tanto, es estado de cargas es el que se muestra en la figura 3.13.

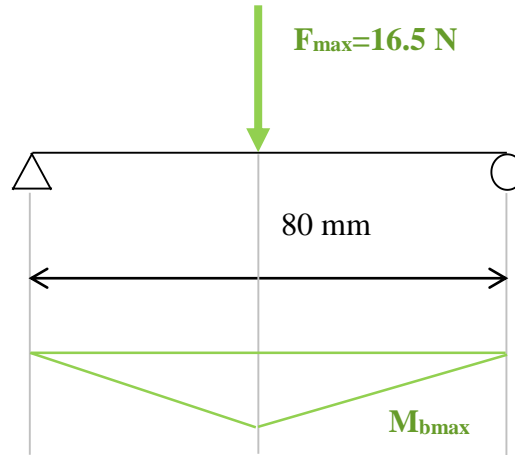


Figura 3.13. Estado tensional patín

El momento flector máximo,  $M_{b\max}$ , se define como:

$$M_{b\max} = \frac{16.5 \text{ N}}{2} \times \frac{80 \text{ mm}}{2} = 330 \text{ Nmm}$$

Por tanto, la tensión de flexión es:

$$\sigma_b = \frac{M_{b\max}}{W_{bx}} = \frac{330 \text{ Nmm}}{26.45 \text{ mm}^3} = 12.5 \text{ MPa}$$

El material del patín es la aleación de aluminio 6080 del que sabemos  $\sigma_R = 280 \text{ MPa}$ , por tanto el factor de seguridad será:

$$N = \frac{\sigma_R}{\sigma_b} = \frac{280 \text{ MPa}}{12.5 \text{ MPa}} = 22.4$$

Como se puede observar, el factor de seguridad obtenido es notablemente elevado.

### 3.4. Selección de materiales

Los criterios de selección de los materiales para la fabricación de las piezas del prototipo fueron su bajo coste y disponibilidad, la posibilidad de trabajar con ellos mediante los procesos de fabricación disponibles en el taller y sus propiedades mecánicas. Dentro de estas últimas destaca principalmente su ligereza, dados los estrictos requisitos de diseño que dictan que el peso total del prototipo no debe sobrepasarse por encima de 1Kg. Las características completas de los materiales empleados en este proyecto se recogen en el documento Anexos II - Materiales.

#### 3.4.1. Resina de plástico (VWP)

Dada la disponibilidad de una impresora 3D capaz de imprimir piezas con una resina plástica (VeroWhitePlus) para la realización de este proyecto, se decidió adoptar este material para el diseño de las piezas que no estarán solicitadas a estados de carga elevados, con geometrías de diseño atípicas

y que además requieren que tengan un peso reducido. Además, el empleo de la impresora 3D otorga cierto nivel de libertad a la hora de diseñar las piezas, pudiendo darle geometrías complejas que con otros procesos serían inviables de fabricar. Debido a la anisotropía de los componentes fabricados con una impresora 3D y la posible inestabilidad de sus propiedades mecánicas en determinadas direcciones geométricas, no se tomaron espesores menores a 4 mm para piezas que poseen ciertas sollicitaciones con el fin de asegurar un mínimo de rigidez y estabilidad en las piezas fabricadas. Se empleó este material para el conjunto de piezas que forman el brazo tensor y la estructura del chasis.

### **3.4.2. Aluminio**

El diseño de los patines encargados de la locomoción del prototipo resulta a priori bastante sencillo, ya que se trata de piezas planas. Dado que el diseño de los patines no cuenta con una geometría tan compleja como las piezas citadas anteriormente y para no abusar del empleo de la impresora 3D, se decidió diseñar los patines en material de aluminio. Su baja densidad y sus buenas propiedades mecánicas permiten diseñar las piezas planas que forman los patines con un espesor mucho menor que el requerido para las piezas de ABS sin comprometer para ello sus prestaciones mecánicas. La disponibilidad de una cortadora por láser permite que la fabricación de estas piezas sea asumible, además de poder otorgarle a las chapas planas un perfil con la forma deseada. El aluminio empleado para la presente aplicación dadas sus características y disponibilidad fue el aluminio 6082.

### **3.4.3. Acero**

Se decidió emplear acero para el diseño de los ejes, tanto para los ejes de las ruedas como para los ejes de articulación de los patines. A pesar de que su densidad es mayor que la del aluminio y que se requiere que el prototipo global tenga el menor peso posible, el reducido número de ejes empleado, sus pequeñas dimensiones geométricas y sus mejores propiedades mecánicas decantaron la selección del material hacia un acero de tipo AISI 304.

## **3.5. Selección de componentes comerciales**

En función de los cálculos efectuados en apartados anteriores, se procede a la selección de los diferentes elementos comerciales que cumplan de forma efectiva los requisitos de diseño mecánico planteados. Los criterios más influyentes a la hora de efectuar la selección, además del cumplimiento de las prestaciones requeridas, son el coste económico y la rápida disponibilidad de los elementos comerciales. Las especificaciones técnicas de los componentes comerciales que se procederá a exponer en los próximos apartados se pueden consultar en detalle en el documento Anexos III – Componentes Comerciales.

### **3.5.1. Chasis**

Para el diseño de la estructura del chasis del KoalaBot Mini, se decidió partir de una polea de persiana del distribuidor Leroy Merlin como la de la figura 3.14, debido a su geometría cilíndrica, su bajo coste, su ligereza (material PVC) y sus reducidas dimensiones.



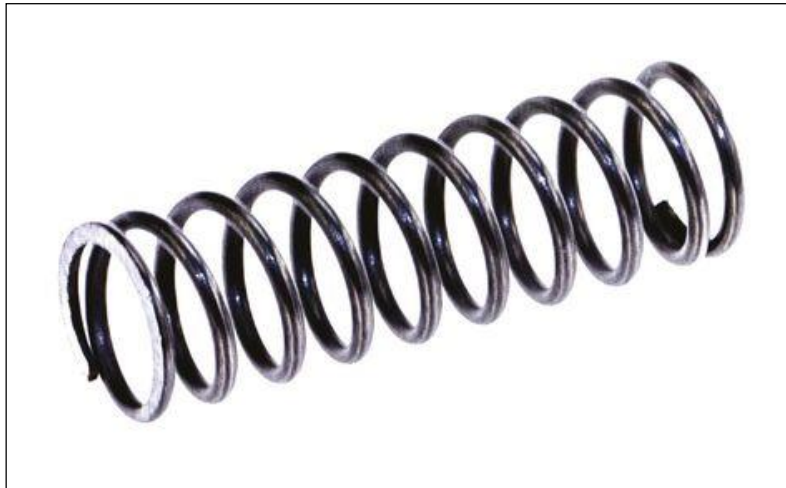
*Figura 3.14. Polea de persiana de PVC del distribuidor Leroy Merlín*

A pesar de que fueron necesarios procesos de fabricación secundarios para terminar de adaptar la geometría del componente al diseño adoptado para el chasis del KoalaBot Mini, gracias a la adquisición de este componente, fue posible ahorrar el elevado coste que hubiese requerido la fabricación primaria del chasis mediante la impresora 3D, ya que se trata de la pieza más grande y voluminosa de todo el prototipo.

### **3.5.2. Muelles**

Como se explicó en apartados anteriores, el diseño adoptado para los brazos tensores requiere el empleo de muelles a compresión. El muelle comercial seleccionado debe cumplir con diferentes requisitos, sobre todo relativos a las dimensiones si tenemos en cuenta el reducido espacio disponible en los brazos tensores diseñados. La primera condición a cumplir es la longitud libre del muelle, que no puede ser mayor que la longitud máxima del brazo tensor (la longitud libre mínima vendrá dada por las limitaciones de los muelles comerciales disponibles). El diámetro exterior del muelle tampoco debe exceder los 14 mm, de lo contrario no podrá estar alojado en el mecanismo tensor. Por otra parte, la fuerza que debe generar el muelle para que el rozamiento entre las ruedas y la superficie del poste sea el requerido según los cálculos justificativos, no debe ser inferior a 25 N.

El muelle a compresión finalmente seleccionado es un modelo del distribuidor RS, como el de la figura 3.16.



*Figura 3.15. Muelle a compresión seleccionado del fabricante RS*

Sus características técnicas son:

- Longitud libre - 28.5mm
- Longitud de funcionamiento mínimo - 14.3mm
- Frecuencia del resorte - 2.33N/mm
- Diámetro externo - 9mm
- Diámetro del cable - 1mm
- Material – Aleación de acero

Si tenemos en cuenta estas prestaciones y los cálculos obtenidos en el apartado anterior, se puede observar como la elección de este muelle cumple con las expectativas del diseño del prototipo.

### **3.5.3. Ruedas**

En el mercado existen multitud de proveedores de ruedas para aplicaciones de reducido tamaño. Las ruedas de los patines del prototipo deben tener un diámetro reducido si tenemos en cuenta las limitaciones de espacio en el diseño mecánico adoptado. Teniendo en cuenta el diámetro de los postes sobre los que debe trabajar y el diámetro del chasis, se buscarán ruedas que no estén por debajo de los 20 mm de diámetro y que no excedan los 40 mm de diámetro.

Además, deben poseer el suficiente agarre o capacidad de deformación para que no resbalen sobre la superficie del poste que se pretende escalar y al mismo tiempo, deben tener la suficiente tracción como para que la rueda no patine sobre el poste una vez iniciado el giro. Esta circunstancia nos hace descartar a los fabricantes más comunes de ruedas para aplicaciones industriales (Alex, Bickler, etc.), ya que la dureza de sus gomas es demasiado elevada. Por ello, se decidió buscar entre diferentes distribuidores de ruedas para pequeñas aplicaciones, tales como robots Arduino o coches RC a escala, cuyas ruedas (además de tener disponibles modelos de diámetro más pequeños), poseen una goma más blanda y deformable, mucho más apropiada para la presente aplicación. Finalmente se decidió adoptar unas ruedas comerciales del fabricante Pololu, de 32 mm de diámetro y ancho 7 mm, con neumáticos de goma semi-blanda y llantas de plástico, como las que se pueden apreciar en la figura 3.15.



*Figura 3.16. Ruedas de diámetro 32mm del fabricante Pololu*

La elección de este modelo está justificada por varios motivos. En primer lugar, las ruedas seleccionadas poseen una goma con una capacidad de adherencia óptima para la presente aplicación, ya que no es tan dura como las ruedas de aplicaciones industriales, ni tan blanda como algunos modelos de ruedas en miniatura encontrados, que poseían gomas de material de espuma (material demasiado blando para permitir la tracción de las ruedas).

Dada la poca información suministrada por el fabricante, no se puede conocer a ciencia cierta el valor de la capacidad de carga de las ruedas seleccionadas. No obstante, y dado que se trata de una aplicación miniaturizada con piezas reducidas y fuerzas de acción pequeñas (la más elevada es la del muelle, que transmitirá una carga de 33 N en cada patín), se puede dar por hecho que las ruedas seleccionadas son aptas y soportarán las solicitaciones de la presente aplicación. Posteriormente se contrastará experimentalmente que las ruedas elegidas soportan la carga del muelle calculada de 33 N.

#### **3.5.4. Motor**

Acorde a los valores obtenidos en el apartado cálculos justificativos, se aborda la selección de un motor DC en función de los siguientes requisitos. El motor debe tener una potencia mínima de 3.8 W, mientras que su par nominar debe ser como mínimo de 0.12 Nm. En cuanto a la velocidad de giro a la salida del motor, esta debe ser tal que con las ruedas comerciales de 32mm ya seleccionadas, el motor proporcione una velocidad lineal de 0.33 m/s (valor previamente sobredimensionado para la realización de los cálculos). Todas estas prestaciones deben poder obtenerse con un motor que posea dimensiones geométricas lo más reducidas posibles con el fin de respetar las especificaciones de diseño relativas a la ligereza y el reducido tamaño del prototipo. Debido a este último requisito, se decidió buscar un motor DC en el catálogo de Pololu, fabricante conocido por el diseño de micromotores con reductora incorporada para aplicaciones de reducido tamaño. Finalmente se seleccionó un modelo de la gama alta (High Power) con reductora 150:1, como el que se aprecia en la imagen 3.17.





*Figura 3.17. Micro motor con reductora del fabricante Pololu*

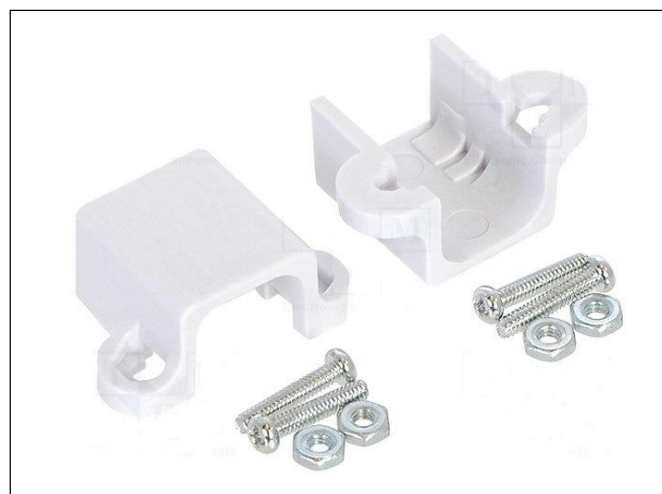
Sus características técnicas son las siguientes:

- Potencia – 5.9 W
- Par Nominal – 0.2825 Nm
- Velocidad a la salida de la reducción - 200 rpm
- Dimensiones geométricas - 26x12x10 mm
- Tensión de alimentación típica – 6 V
- Consumo máximo (eje bloqueado) – 1,6 A

Estas prestaciones, combinadas con sus reducidas dimensiones geométricas convierten a este modelo de motor DC en una opción más que apta para la presente aplicación.

### **3.5.5. Soporte motor**

Para mantener el motor fijado al mecanismo del prototipo, se decidió aprovechar las carcasas del fabricante Pololu diseñadas exclusivamente para los micromotores de la misma marca, como el seleccionado en esta aplicación (ver figura 3.18).



*Figura 3.18. Fundas protectoras para el micromotor de Pololu*

Dicho soporte está fabricado en ABS, cuenta con dos tornillos y tuercas para sujetar el motor a cualquier superficie y tiene un pequeño tope interior para evitar que el motor se desplace tanto longitudinal como transversalmente.

### **3.5.6. Acoplamiento**

Debido a la reducida longitud del eje de salida del motor, se ha decidido adquirir un par de acoplamientos del fabricante Pololu (también diseñados de forma específica para este tipo de micromotores), con el fin de poder alargarlo si el diseño final lo requiere.



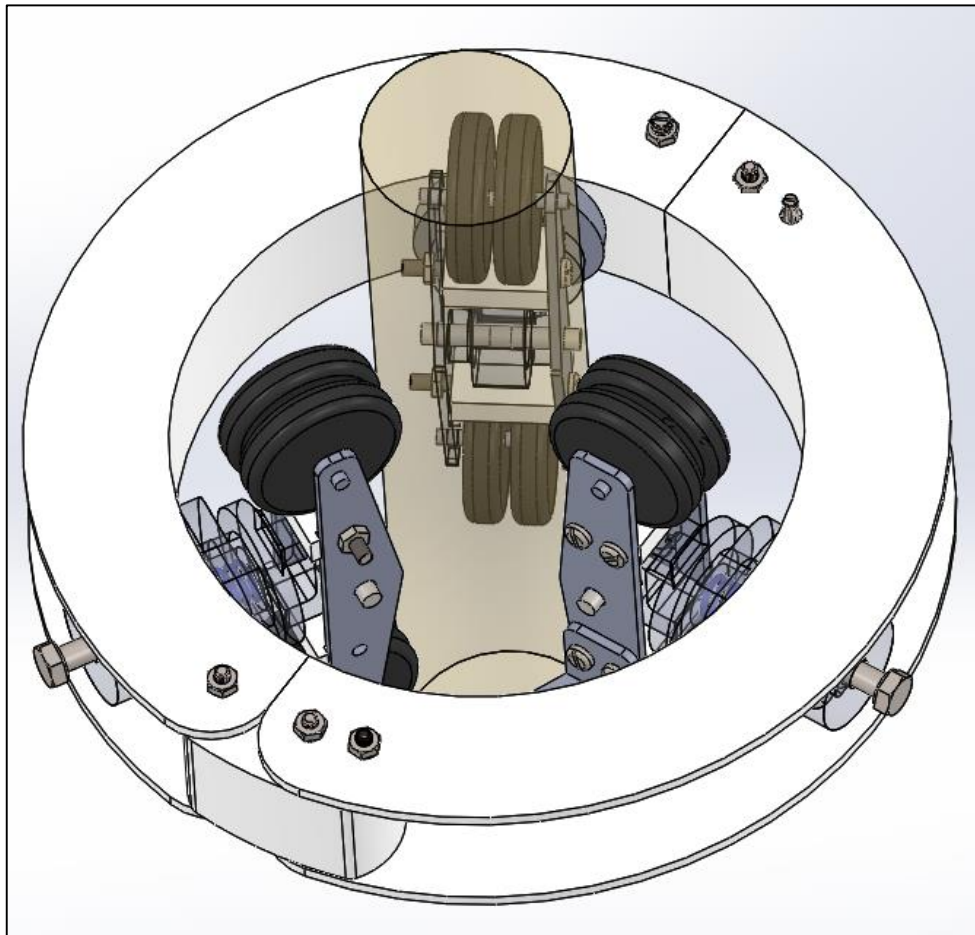
*Figura 3.19. Acoplamiento para motores de Pololu*

Están constituidos por dos discos de metal, que pueden unirse mediante 4 uniones roscadas, tal y como se observa en la figura 3.19. Dichos discos se fijan a los ejes mediante un tornillo prisionero con cabeza hueca hexagonal, que hace presión sobre el eje achaflanado del micromotor de Pololu. El componente comercial incluye además una llave Allen con la misma métrica que los prisioneros para facilitarle al usuario el correcto ajuste de la unión.

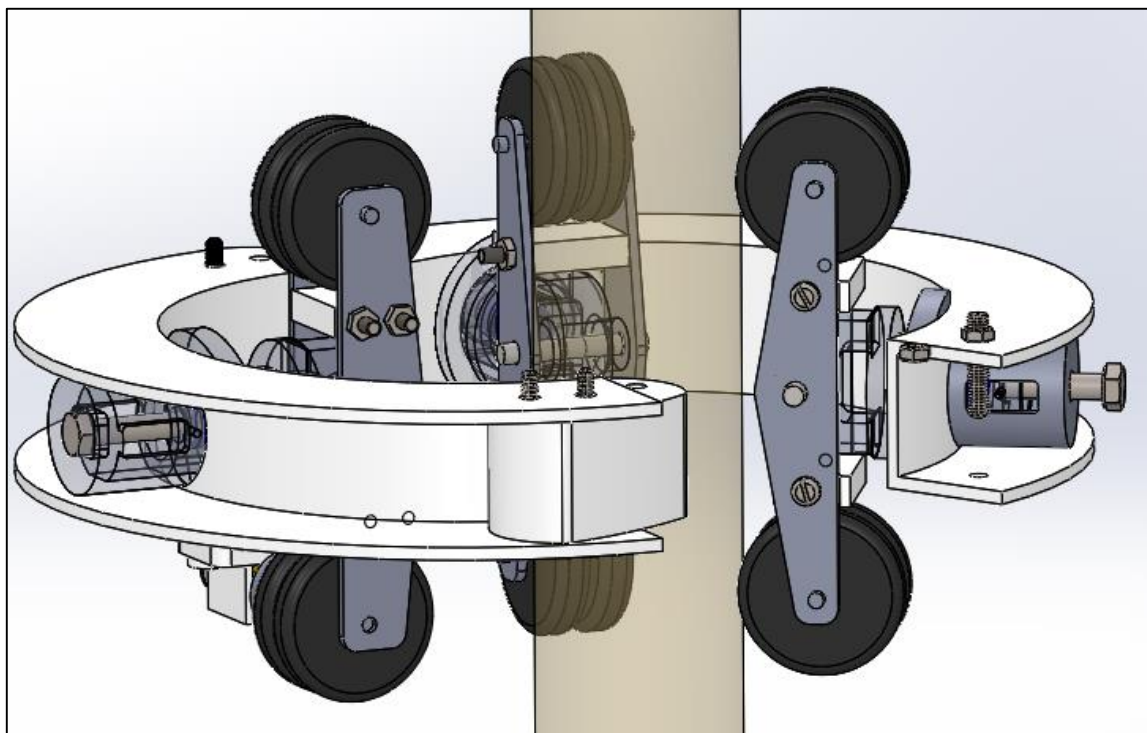
## **3.6. Modelado del prototipo mecánico diseñado**

A continuación se procede a la descripción de todas las partes del prototipo final. En la figura 3.20 y 3.21 podemos observar las bisagras en posición de cierre y de apertura respectivamente. La idea inicial consistía en dos ejes comunes a las dos partes del chasis, como se presentó en la figura 3.1. Sin embargo la utilización de la polea como chasis, como se ha mencionado anteriormente, no ha permitido dicho diseño. Las bisagras han sido diseñadas con tres ejes para evitar el giro de las mismas respecto al chasis. Mediante un único pasador se produce la apertura o cierre de la estructura.

El chasis está formado por la polea de persiana descrita anteriormente. Ha sido modelizada siguiendo sus dimensiones fielmente para determinar las operaciones secundarias necesarias. Al chasis le han sido realizados seis taladros para los tornillos de las bisagras en sus superficies inferiores y superiores y también se han realizado tres agujeros de diámetro 24 mm para los brazos tensores.



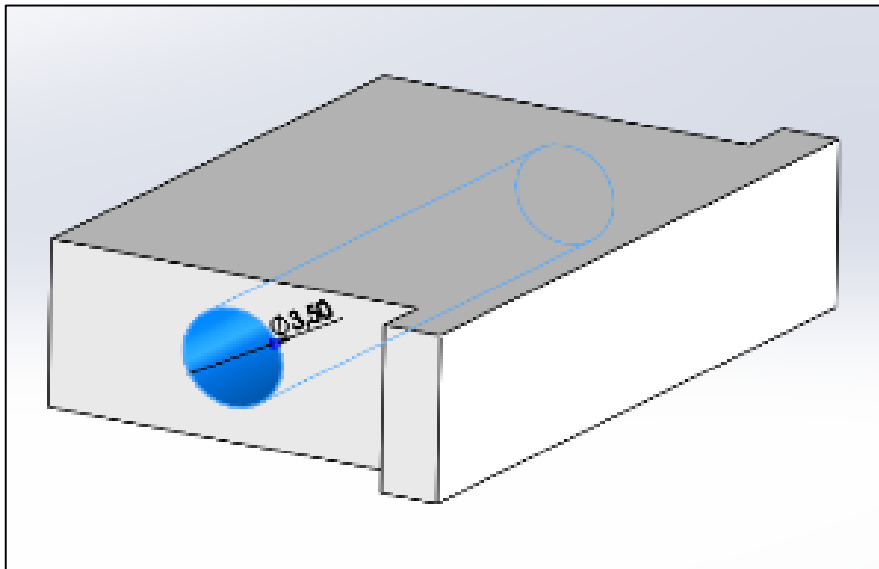
*Figura 3.20 Bisagra de cierre*



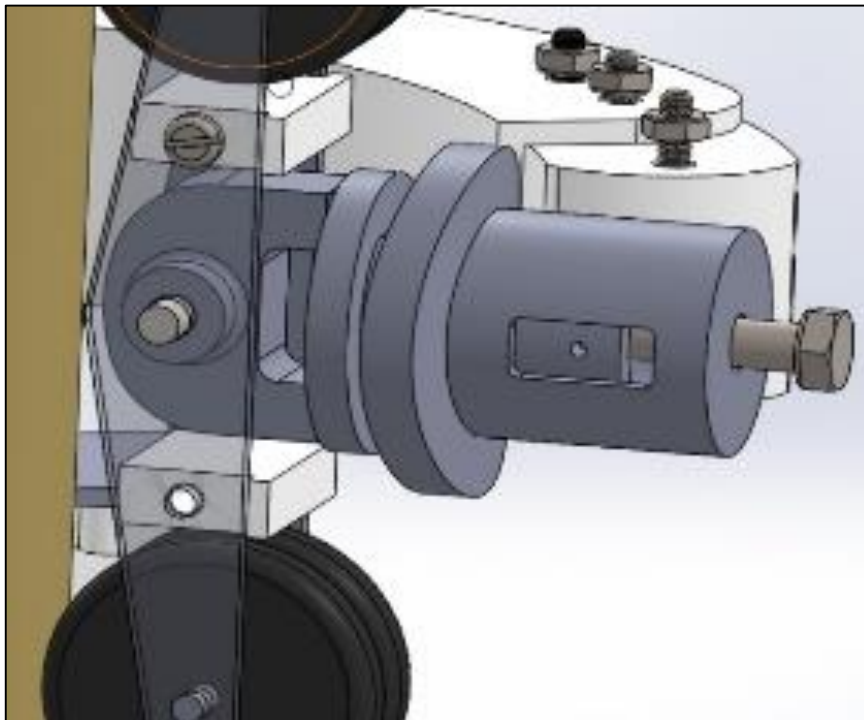
*Figura 3.21. Bisagra de apertura*

Cada brazo está formado por un patín y un tubo tensor que contiene el muelle a compresión. Cada patín posee una pieza por cada lado denominada puente que sirve de soporte a las ruedas y al eje que proviene del tubo tensor. Estos puentes están distanciados y restringidos mediante unas piezas separadoras.

En los brazos conducidos, cada separador está sujeto con un tornillo y una sola tuerca a los puentes, lo que no termina de restringirlo de todo. Para ello, se ha diseñado un tope que hace contacto con el puente, evitando el giro del separador y restringiendo la pieza por completo, como podemos ver en las figuras 3.22 y 3.23.

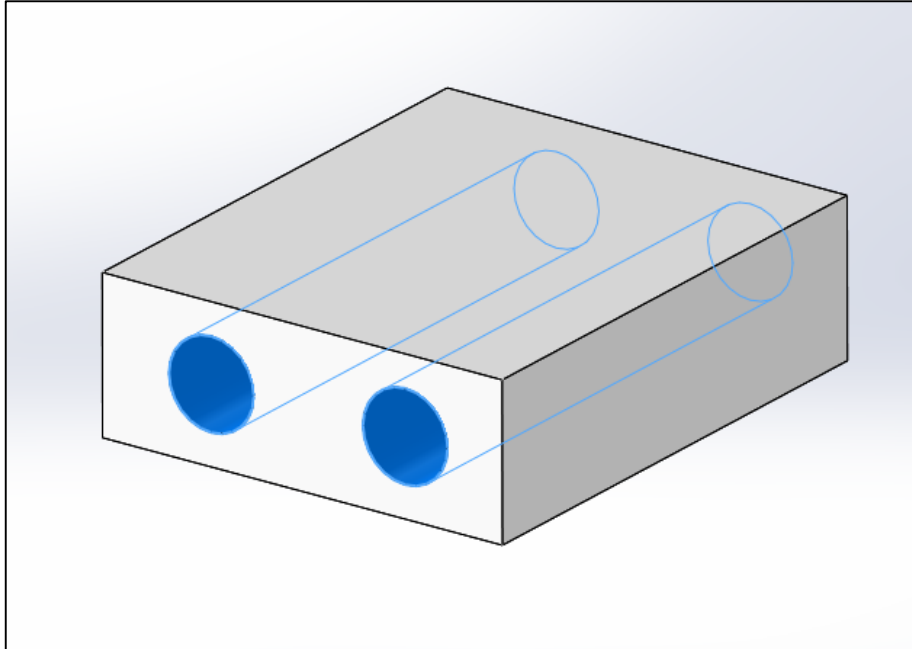


*Figura 3.22. Pieza separador brazo conducido*

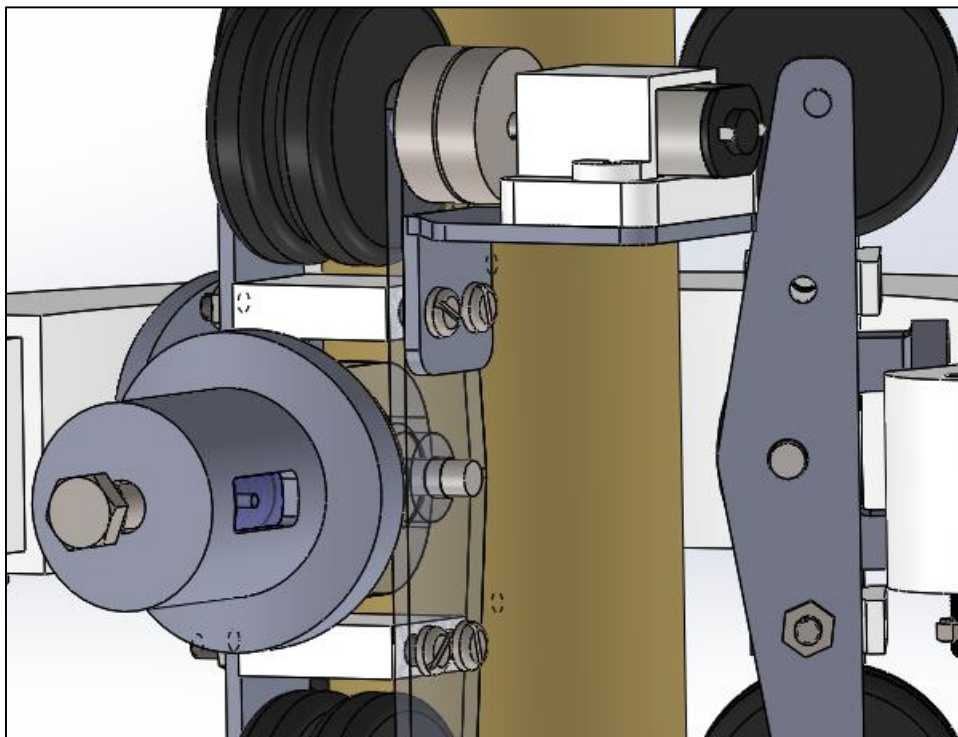


*Figura 3.23. Separador brazo conducido montado*

En el brazo motriz sin embargo, los separadores tienen dos agujeros, como podemos ver en las figuras 3.24 y 3.25, ya que los tornillos y tuercas que los unen se utilizan también para la sujeción del soporte del motor. Por esta razón los puentes del brazo motriz son algo más anchos y se han diseñado de distinta manera. De esta manera, al contrario que el caso anterior, los separadores quedan restringidos de por sí con la incorporación de dos taladros, sin necesidad de añadir un tope adicional.

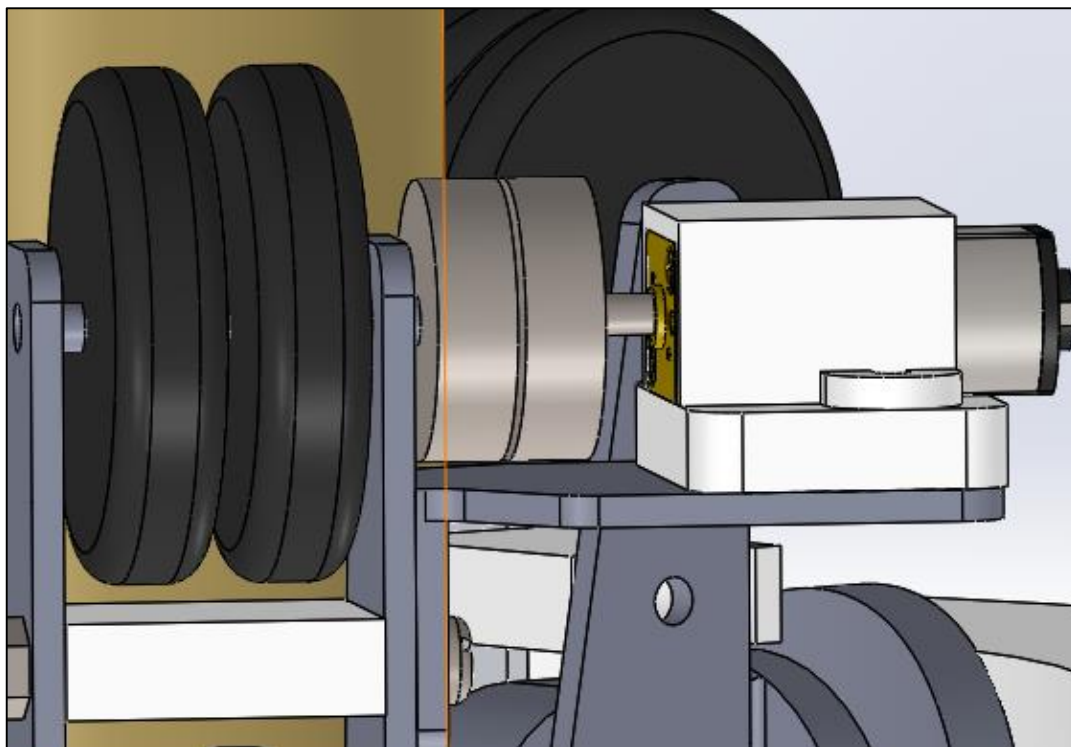


*Figura 3.24. Pieza separador brazo conducido*



*Figura 3.25. Separador brazo motriz montado*

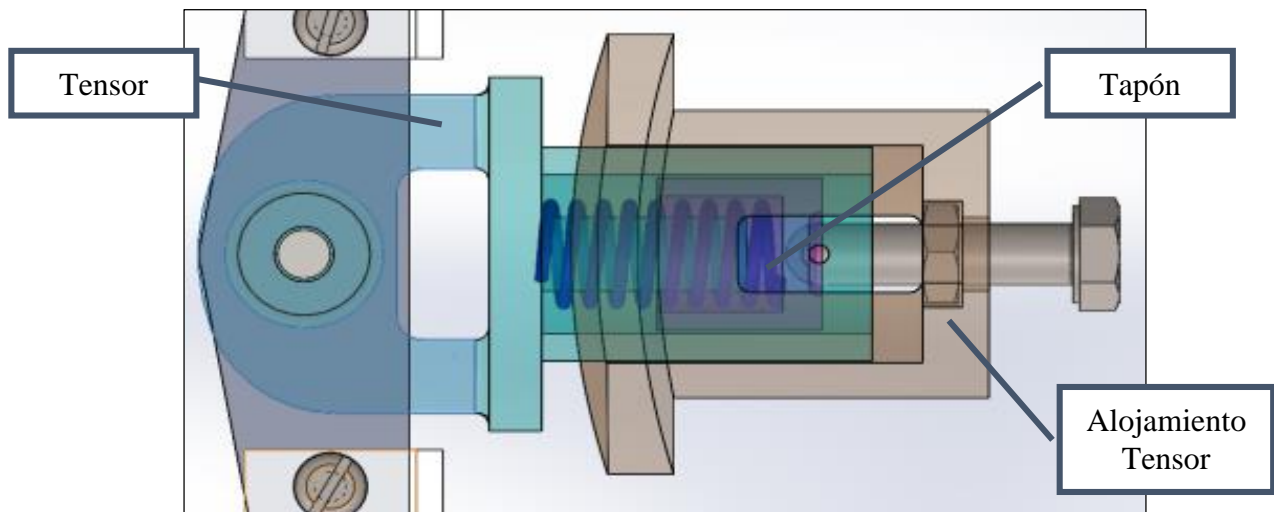
El soporte para el motor es una pieza plegada con forma de “L”. Sobre una de las caras se fija mediante uniones atornilladas el soporte del motor al patín motriz. Sobre la otra superficie reposa el motor, que a su vez se encuentra sobre una placa que lo eleva ligeramente, evitando que el acoplamiento que alarga el eje del motor choque contra el propio soporte. Ambas piezas se pueden visualizar montadas en el prototipo en la figura 3.26.



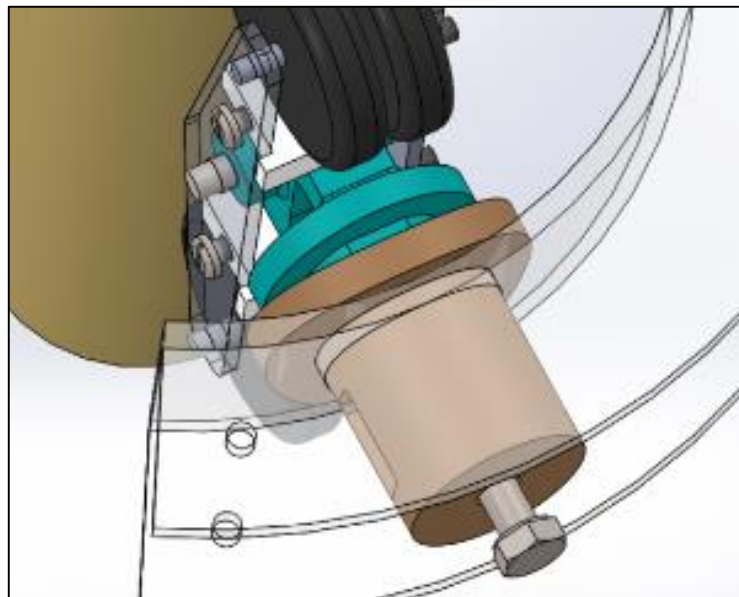
*Figura 3.26. Soporte motor montado*

Como se puede ver en las figuras 3.27 y 3.28 el mecanismo tensor está formado por 3 piezas diseñadas, además de un muelle, una tuerca embutida y un tornillo que controla la longitud del resorte. El muelle a compresión está apoyado por un extremo en la pieza “tensor”, la cual transmite la fuerza a los patines y, por tanto, a las ruedas. Esta pieza también tiene una guía para el muelle, para evitar desplazamientos no deseados. Por el otro extremo, el resorte es apretado por la pieza denominada “tapón” debido a su característica geometría. Dicha pieza avanza comprimiendo el resorte cuando el tornillo es apretado. La tercera pieza o “alojamiento tensor” es la que frena el brazo contra el chasis, al que va fijado.



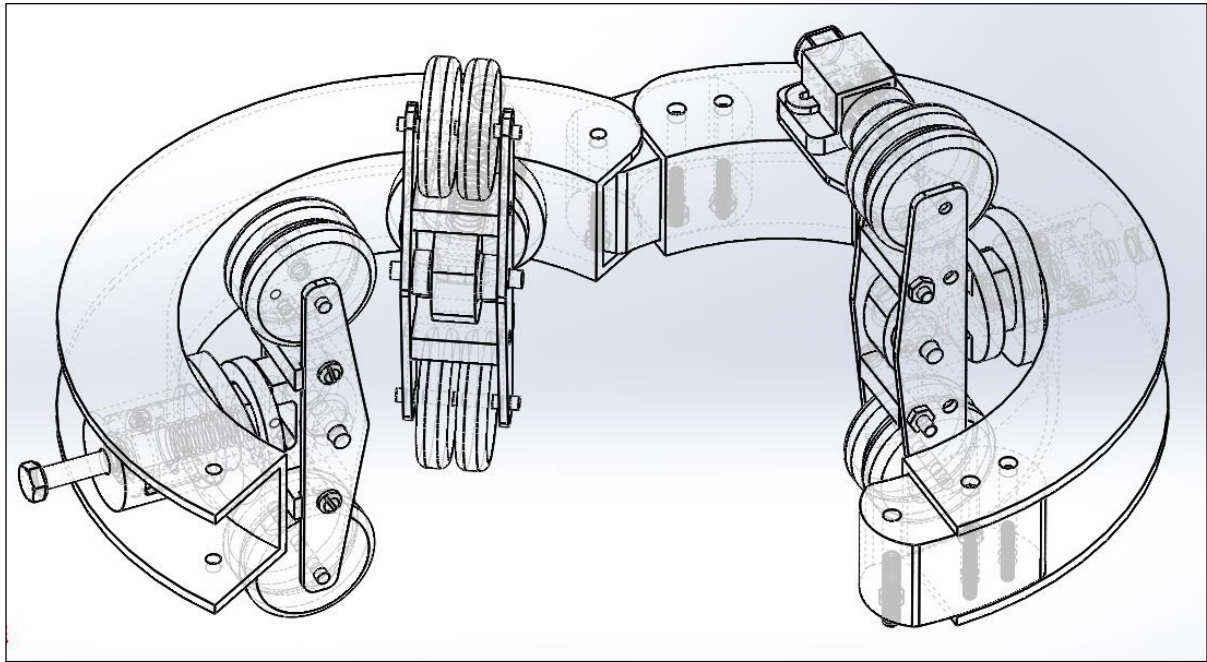


*Figura 3.27. Mecanismo tensor*



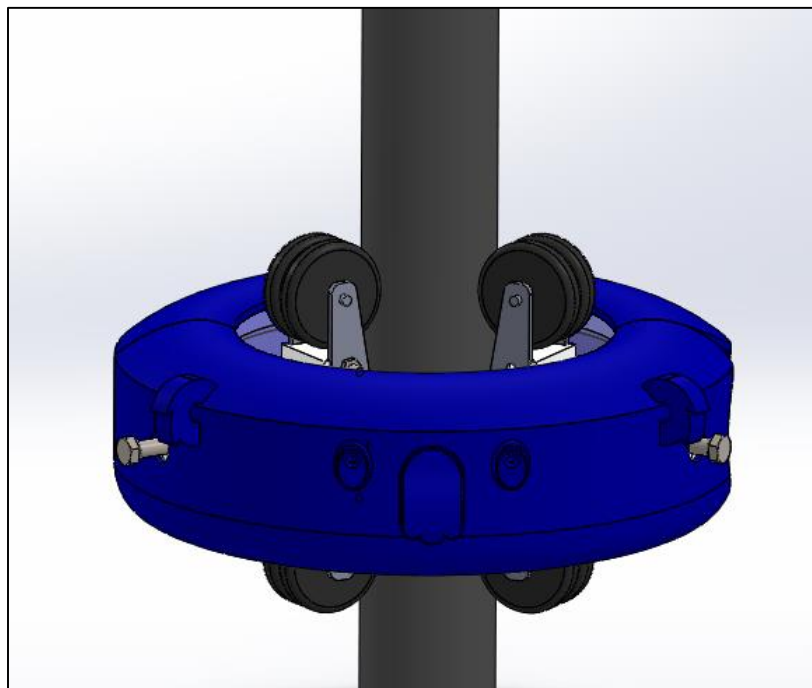
*Figura 3.28. Vista superior del mecanismo tensor*

Una visión general del prototipo completamente modelado se puede apreciar en la figura 3.29, donde se aprecian los 3 dispositivos tensores, un patín motriz, dos de sustentación, un motorreductor de accionamiento y la estructura portante, con sus dos articulaciones (una fija y otra de apertura/cierre).



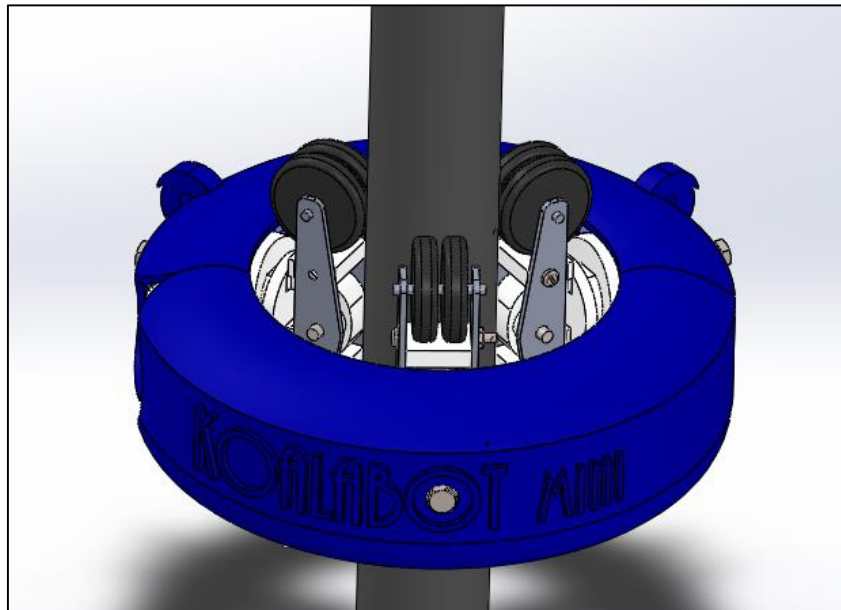
*Figura 3.29. Visión general del modelado final del diseño mecánico*

Tras concluir el diseño y modelado mecánico del KoalaBot Mini y comprobar que el estado del proyecto en dicho punto estaba dentro de los plazos establecidos, se decidió diseñar de manera adicional una carcasa externa que protegiera y ocultara todos los componentes internos del prototipo y así obtener un diseño más estético. Fue necesario realizarle ciertos huecos en algunas zonas conflictivas, como la zona del soporte del motor, la bisagra para permitir la correcta apertura del chasis, o taladros para la salida de los tornillos tensores. Para darle más vistosidad, se decidió implementar rasgos de koala a una de las partes de la carcasa (figura 3.30) y el rótulo “KoalaBot Mini” en parte opuesta (figura 3.31).



*Figura 3.30. Primera cara de la carcasa del KoalaBot Mini*





*Figura 3.31. Segunda cara de la carcasa del KoalaBot Mini*

La posibilidad de llevar a cabo dicho diseño se pudo contemplar desde la primera fase debido a la disponibilidad de una impresora 3D, capaz de prototipar geometrías complejas.

## 4. DISEÑO ELECTRÓNICO

En el presente capítulo se abordarán todas las fases llevadas a cabo para la obtención de un diseño del hardware electrónico del KoalaBot Mini que cumpla todas las especificaciones técnicas requeridas en la fase inicial del proyecto.

### 4.1. Introducción

Tras disponer de un primer prototipo del KoalaBot Mini y una vez evaluadas las opciones, se opta por dividir el diseño electrónico en dos placas conectadas entre sí: una principal en la que se implementarán todas las funcionalidades primarias demandadas en las especificaciones de diseño y una de ampliación, en la cual se incorporarán nuevas aplicaciones adicionales. Ambas placas serán montadas a bordo del chasis del robot e incorporarán todos los componentes necesarios para el correcto cumplimiento de los requisitos especificados. La opción de realizar dos PCBs diferenciadas permite aprovechar de forma más eficiente el poco espacio disponible en el chasis del KoalaBot, además de centrar en primer lugar el diseño electrónico hacia las exigencias principales.

En el documento Anexos V – Diagramas, se adjunta un diagrama de bloques en el que se muestran las conexiones globales del diseño electrónico que se propone en el presente proyecto, las relaciones que guardan entre sí los componentes dentro de cada placa y la interacción existente entre ambas.

### 4.2. Selección de componentes comerciales

En este apartado se muestran los componentes electrónicos a integrar necesarios para satisfacer las condiciones de diseño citadas iniciales, así como sus características y funcionalidades más destacables.

#### Microcontrolador

El microcontrolador seleccionado deberá tener el mínimo coste posible, evitando características superfluas e inservibles para la aplicación que lo puedan encarecer. Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del diseño electrónico citadas en apartados anteriores, el microcontrolador seleccionado debe cumplir las siguientes características:

- Disponer de al menos un módulo USART con un transmisor y receptor asíncronos universales para poder implementar una comunicación inalámbrica vía Bluetooth entre el microcontrolador y el usuario por medio de un dispositivo móvil. Otro requisito recomendable es que el microcontrolador cuente con una interrupción por recepción de datos a través de USART.
- Incorporar un reloj de alta frecuencia o en su defecto, la posibilidad de conectar un reloj externo para que el microcontrolador trabaje a la misma frecuencia requerida por el módulo Bluetooth y que la comunicación serie se realice a los niveles de velocidad adecuados.
- Tener dos módulos CCP (Capture, Compare, PWM), uno en “Modo PWM” para generar la señal de control del motor y otro en “Modo Captura” para procesar la señal del encoder. En su defecto, el microcontrolador seleccionado debe tener al menos un módulo CCP para generar una señal PWM y la posibilidad de habilitar interrupciones por subida o bajada de flancos externos (comúnmente por el pin RB0). Esto último supondría otra solución igualmente válida que permitiría también contar los pulsos del encoder.

- El microcontrolador deberá contar con al menos un módulo temporizador para la configuración de la señal PWM. Además, de cara a posibles ampliaciones como la incorporación de sensores ultrasónicos, sería recomendable que el microcontrolador contara con al menos un temporizador de 16 bits para efectuar temporizaciones de forma precisa.
- Contar con suficientes puertos de entrada y salida digitales para poder conectar y controlar todos los componentes que requiere la aplicación: encendido y apagado de leds, líneas de control del motor, del encoder, etc.
- Ya que no se requiere de un gran número de pines y la presente aplicación tiene restricciones dimensionales, se buscará que el microcontrolador seleccionado ocupe el menor espacio posible para minimizar el tamaño de la tarjeta de circuito impreso. Además, es deseable que su encapsulado sea de tipo DIP para facilitar su reemplazo del equipo de control en caso de que resultase dañado.
- Dado que aún se desconoce el modelo del resto de componentes de la aplicación que interactuarán con el PIC y sus voltajes de alimentación, sería recomendable seleccionar un PIC que tenga la posibilidad de funcionar a tensiones de alimentación bajas, además de la tensión de funcionamiento estándar de 5V, sobre todo teniendo en cuenta que la mayoría de los módulos bluetooth comerciales trabajan a 3.3V.

Otras características que se le podrían exigir al microcontrolador podrían ser bajo consumo, poder ser programado con facilidad, disponer de otras interrupciones y opción de prioridad de interrupciones.

De todos los microcontroladores disponibles en el laboratorio, finalmente se decidió adoptar el modelo **PIC16F648A** de la empresa *Microchip*®, que cuenta con 18 pines y cumple con todos los requisitos descritos anteriormente (figura 4.1). Sus especificaciones técnicas, funcionalidades y conexiones se incluyen con más detalle en el documento Anexos III – Componentes Comerciales.

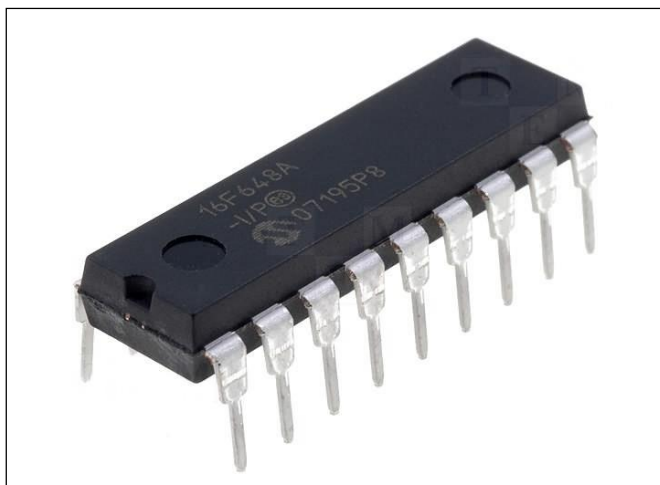


Figura 4.1. Microcontrolador PIC16F648A de 18 pines.

## Motor

Como ya se comentó en el apartado de componentes comerciales mecánicos, el motor seleccionado es un modelo MicroMetal GearMotor de la marca Pololu, gama HP (High Power) y que además incluye una reductora de 150:1 al eje de salida, como se puede observar en la figura 4.2. Sus reducidas dimensiones geométricas combinadas con sus niveles de potencia, par y velocidad, hacen que este motor sea ideal para la presente aplicación.

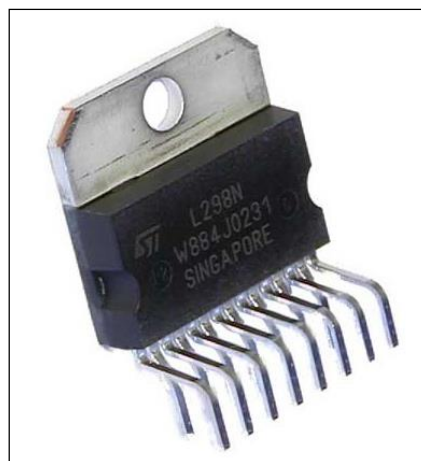


*Figura 4.2. Micro motor con reducción 150:1*

Centrándose en sus especificaciones eléctricas, el motor seleccionado se alimenta típicamente a 6V, aunque según la ficha del fabricante, se le puede llegar a suministrar un voltaje máximo de 9V. En cuanto a la corriente, el motor puede llegar a consumir en determinados picos un máximo de 1600mA.

### **Driver del Motor**

Para poder controlar el motor desde el microcontrolador se requiere de un driver o circuito de adaptación que haga de intermediario entre ambos, ya que el PIC por sí solo no puede proporcionar la intensidad necesaria para mover un motor. Como además se quiere controlar el giro del motor en las dos direcciones y al mismo tiempo regular la velocidad, para esta aplicación se requiere el uso de un puente en H. Dado que el motor seleccionado tiene un consumo de 1,6A, se ha optado por emplear un integrado L298 como el de la figura 4.3, ya que es capaz de soportar una corriente de 2A por cada terminal.



*Figura 4.3. Puente en H integrado L298*

Además, este integrado tiene la posibilidad de controlar 2 motores DC bidireccionales (o 4 motores DC unidireccionales). El L298 dispone de dos alimentaciones separadas: un voltaje lógico para las señales del integrado y otro que suministra al motor la tensión necesaria para funcionar.

## Encoder

Las especificaciones de diseño incluyen la posibilidad de contabilizar los giros del motor para que el usuario tenga un control sobre la distancia recorrida por el mismo. Para ello se adoptó la solución de emplear un encoder magnético acoplado a la salida del motor reductor seleccionado (figura 4.4). El encoder elegido es de la marca Pololu, modelo especialmente diseñado para emplearlo en los motores MicroMetal GearMotor, como el seleccionado para esta aplicación.



*Figura 4.4. Encoder magnético para micro motor*

Según el fabricante, el rango de alimentación del encoder magnético se encuentra entre 3.5 y 20V. De las 6 conexiones que se observan en la imagen, 2 son relativas al motor y las otras 4 al encoder. De estos últimos canales, uno corresponde a la alimentación, otro a masa y los dos restantes son los canales de salida. El primer canal de salida emite una señal con 4 pulsos altos por cada giro del eje del motor. El segundo emite la misma señal que el anterior pero con un desfase de  $\pi/2$ . Esta particularidad permite no solo extraer la velocidad o la posición recorrida por el motor, sino también su sentido de giro. De esta forma se podrá concretar la velocidad de ascenso del KoalaBot, la distancia escalada por el mismo y si se encuentra en fase de ascenso o descenso.

## Pickit3

Para simplificar y agilizar el proceso de grabación del código de programación en C en el microcontrolador, se empleó el programador y depurador Pickit3 (figura 4.5), que utiliza el entorno de desarrollo integrado MPLAB desarrollado por Microchip®. Esta herramienta está diseñada para alimentarse típicamente a un voltaje de 5V, pero también tiene la posibilidad de trabajar a niveles de tensión baja (desde 2.5 a 5.5V). El Pickit3 se conecta al PC mediante una interfaz USB full-speed. El conector utiliza dos pines I/O y la línea reset (pin MCLR) para implementar la depuración in-circuit y la programación in-circuit serial.



*Figura 4.5. Tarjeta Pickit3 de Microchip®*

### **Módulo Bluetooth**

En un principio, las especificaciones obligaban a usar un modelo de modulo bluetooth determinado por motivos de disponibilidad, el RN-42 de la marca Roving (figura 4.6), con el que se diseñó una primera placa de pruebas.

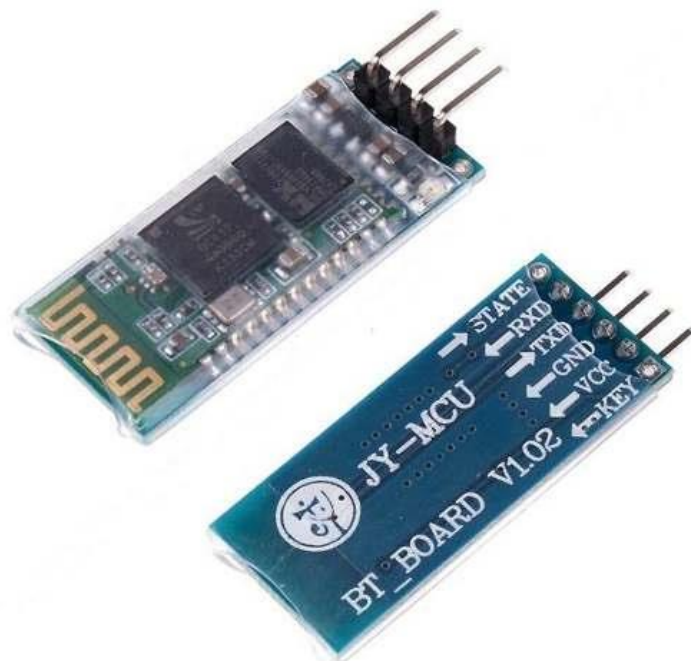


*Figura 4.6. Modulo Bluetooth RN-42 de 35 pines*

Sin embargo, a lo largo del proyecto fue posible adquirir otro modelo de modulo bluetooth que se ajustaba mejor a las necesidades del presente proyecto y permitió optimizar considerablemente el diseño inicial de la placa.

El dispositivo finalmente seleccionado para permitir la comunicación inalámbrica fue un módulo Bluetooth HC-06 del fabricante Arduino® (figura 4.7). El módulo Bluetooth HC-06 es una de los dispositivos más económicos del mercado que se dedica a este tipo de conectividad, a un precio que no alcanza la quinta parte del coste de otros dispositivos con las mismas características. Además de sus buenas características de transmisión y recepción (las cuales le brindan un alcance muy amplio), una de sus principales ventajas es el bajo consumo de corriente que posee, tanto en funcionamiento como en modo de espera. Sus reducidas dimensiones y su facilidad de controlar e

instalar en cualquier circuito de control, lo hace ideal para la aplicación del presente prototipo mecatrónico.



*Figura 4.7. Módulo Bluetooth HC-06 con placa de adaptación*

El empleo del HC-06 resulta muchísimo más eficiente en todos los sentidos. Dicho módulo viene incorporado en una placa de adaptación con una tira de 4 pines (Vcc, GND, Tx, Rx) para conectar el módulo bluetooth perpendicularmente a la placa y reducir así el espacio requerido en el diseño de la PCB.

A pesar de que las especificaciones técnicas dicen que el módulo se debe alimentar a una tensión de 3.3V, la placa de adaptación en la que viene incorporado el módulo permite además suministrarle una alimentación entre 3.6 y 6V, lo que permite alimentarlo a una tensión típica de 5V. Los pines Tx y Rx de transmisión y recepción de datos respectivamente, están limitados para enviar y recibir señales a 3.3V.

Por otra parte, la velocidad de transmisión del HC-06 configurada por defecto es de 9600 baudios, valor al que también puede trabajar el microcontrolador seleccionado con un porcentaje de error asumible empleando un oscilador de 4MHz (véase en el documento Anexos VII – Cálculos de programación). El resto de sus características técnicas se recogen en el documento Anexos III - Componentes Comerciales.

### **Batería recargable**

Para seleccionar una fuente de energía, es necesario conocer primero las demandas de tensión y corriente que exige el sistema electrónico.

Llegados a este punto, se sabe que todos los componentes hasta ahora seleccionados para la aplicación pueden trabajar a una tensión de 5V a excepción del motor, cuyo voltaje de alimentación típico es de 6V, pudiendo llegar a alimentarse hasta un máximo de 9V. Por lo tanto la batería seleccionada no debe suministrar un voltaje menor de los 6V mencionados.



Para la capacidad de la batería, se realizará una estimación de los consumos teóricos de intensidad facilitados por el fabricante de los componentes. Desde el punto de vista teórico, el consumo de la mayoría de los componentes del circuito se puede considerar despreciable en comparación con el del motor DC, que como ya se mencionó anteriormente, consume 1,6A. Por lo tanto, podemos basarnos en esta última conclusión para la selección de una batería con una capacidad adecuada. Dentro de los modelos disponibles, finalmente se selecciona para alimentar el circuito una batería recargable de tipo LiPo y de 2 celdas de la marca Turnigy®, como la que se observa en la figura 4.8.



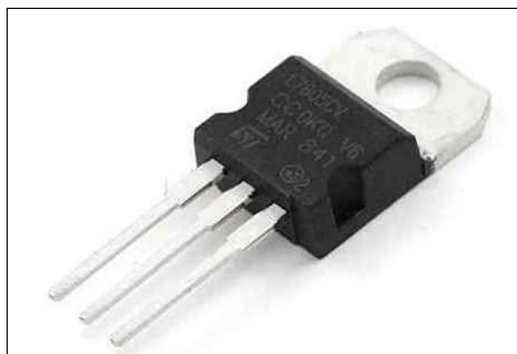
*Figura 4.8. Batería recargable LiPo*

Dicha batería suministra una tensión de 7.4V y tiene una capacidad de 500mA. Sus reducidas dimensiones (55 x 30 x 10 mm), su ligereza (32 g) y sus características eléctricas se ajustan adecuadamente a los requerimientos del sistema. Teniendo en cuenta la capacidad de la batería disponible es de 500mA y considerando un consumo mínimo del circuito de 1,6A, la batería tendría una duración de aproximada de 19 minutos. A pesar de que la batería seleccionada era la única disponible que se ajustaba a las demandas de voltaje, en cuando a su capacidad, lo ideal hubiese sido disponer de una batería con mayor autonomía para la presente aplicación.

### **Regulador de Tensión**

Dado que la tensión que suministra la batería seleccionada es de 7,4V, es necesario adaptar esta tensión a 5V para poder alimentar el resto de componentes del circuito

Para ello, se selecciona un regulador de tensión positiva LM7805 de la marca Microchip®, como el que se ilustra en la figura 4.9. Dicho integrado cumple los requisitos necesarios para adaptar la señal de la batería de 7.4V a 5V.



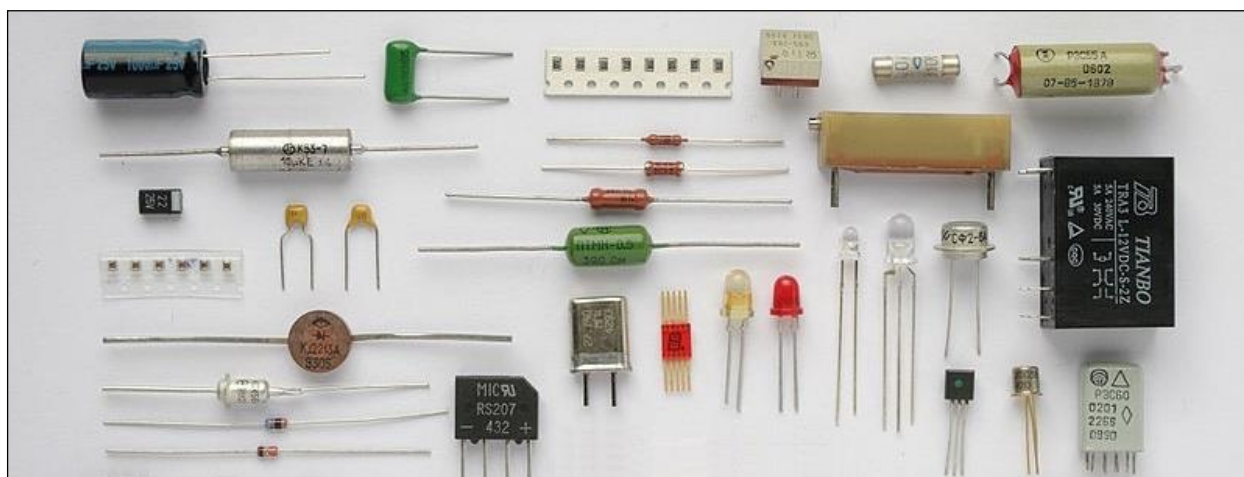
*Figura 4.9. Regulador de tensión positiva LM7805*



Con los 5V que suministra dicho integrado, se alimentan el PIC, su circuito de programación (Pickit3), el modulo bluetooth HC-06, el encoder del motor, y la alimentación lógica del puente en H integrado L298. La posibilidad de alimentar el motor también a los 5V que suministra el LM7805 queda descartada, ya que las prestaciones del motor (par, velocidad) disminuirían si se emplea un voltaje inferior al recomendado (6V). Según el fabricante, al motor se le puede suministrar hasta un voltaje de 9V sin que salga dañado. Dada esta particularidad se ha decidido alimentar el motor directamente a los 7.4V de la batería con el fin de ahorrarnos otro circuito regulador de tensión además del citado de 5V.

## Componentes discretos

La aplicación cuenta además con otros elementos fundamentales que son impuestos por los requisitos de diseño de la placa, tales como resistencias, condensadores, pulsadores, conectores, transistores, cristales, diodos LED, diodos rectificadores, diodos zener, etc (figura 4.10). Su elección y justificación se ampliarán en el siguiente apartado, donde se profundizará en el diseño del esquemático del circuito.



*Figura 4.10. Diferentes componentes electrónicos discretos*

### 4.3. Primer diseño electrónico

Como ya se mencionó, la restricción inicial de emplear el modulo bluetooth RN-42 condicionó de forma directa el primer diseño de la placa principal. Se trataba de un componente SMD de 35 pines, cuyas soldaduras y montaje resultaban complejos teniendo en cuenta los medios disponibles en el laboratorio. Además se requería del diseño adicional de otra placa con zócalos para poder acoplarlo y desacoplarlo fácilmente de la placa principal, lo que requería un aumento considerable del espacio en el diseño de la PCB. El empleo del RN-42 obligaba también a incorporar un regulador de tensión adicional de 3.3V, además del de 5V ya mencionado, debido a que este módulo constituía el único componente de la placa incapaz de funcionar a una tensión de 5V (tensión típica de 3.3V).

Aprovechando la circunstancia de que se seleccionó un PIC capaz de alimentarse a bajo voltaje (3.3V) y que el circuito de programación del PIC (pickit3) puede también trabajar en estos niveles de tensión, el primer planteamiento consistió en aprovechar la fuente de 3.3V para alimentar el PIC, el Pickit3 y el Módulo Bluetooth a esta tensión. De esta manera, se podía prescindir de los niveles de adaptación para las señales Tx y Rx que comunican el PIC y el bluetooth, ya que ambos trabajarían al mismo voltaje de 3.3V.

Sin embargo, el encoder magnético no puede alimentarse a tensiones menores de 3.5V según las especificaciones del fabricante, lo que obliga a conectarlo a la fuente de 5V para su correcto funcionamiento. Dado que el encoder transmite a través de sus dos canales de emisión al PIC dos señales digitales de 5V y que el PIC está limitado por su alimentación a trabajar a 3.3V, en este primer diseño preliminar fue necesaria la incorporación de dos divisores de tensión, uno para cada canal, basados en un diodo zener y una resistencia para reducir los niveles de estas señales y evitar que el PIC resultara dañado.

En las siguientes figuras (4.11, 4.12 y 4.13) se puede apreciar el diseño en ISIS y ARES adoptado para este planteamiento inicial, así como una visualización tridimensional virtual del diseño de la PCB. Las dimensiones máximas de la placa diseñada fueron de 82.5x48mm.

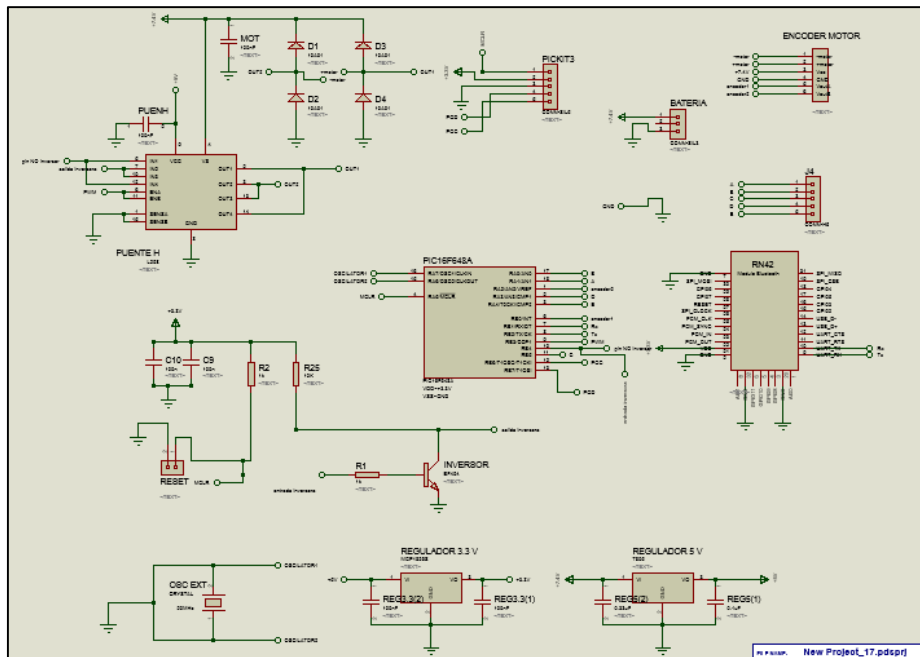


Figura 4.11. Esquema en ISIS del diseño electrónico preliminar

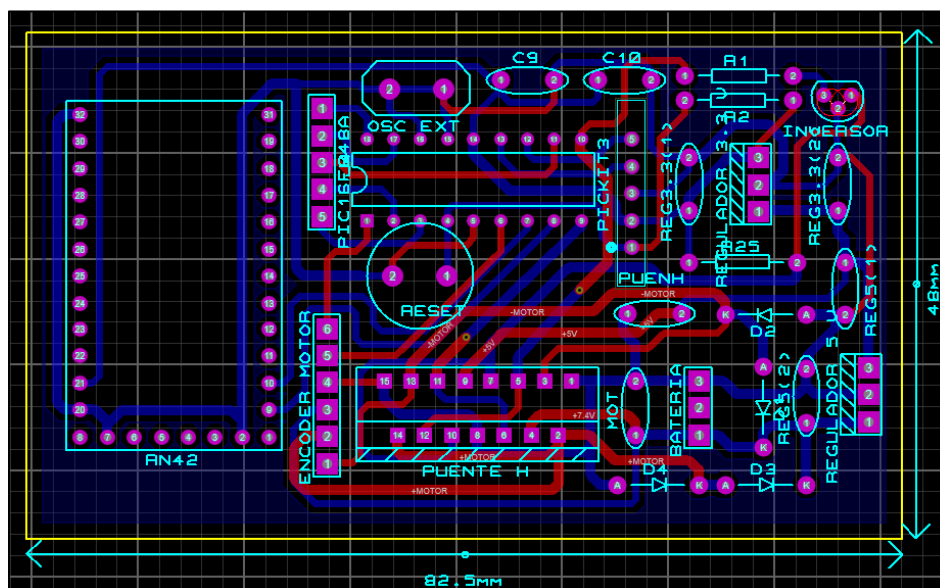
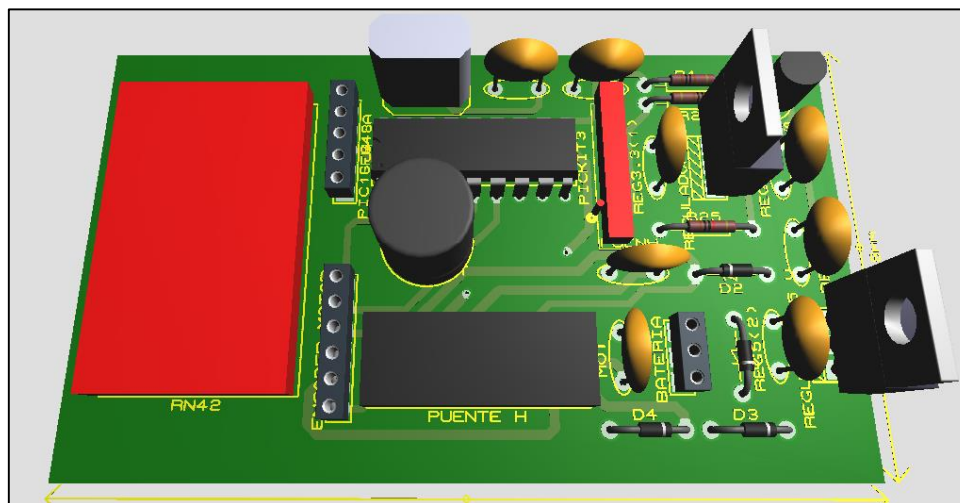


Figura 4.12. Esquema en ARES del diseño electrónico preliminar



*Figura 4.13. Visualización virtual de la PCB del diseño electrónico preliminar*

De los 35 pines que posee este modelo de bluetooth solo era necesario conectar 7 de ellos (4 a GND, 1 a Vcc y 2 para recepción y transmisión de datos, Rx y Tx), por lo que el uso de este módulo resultaba muy poco eficiente, ya que además poseía diversas funcionalidades y configuraciones avanzadas que resultaban superfluas para la presente aplicación. Sin embargo, tras disponer de otro modelo de módulo bluetooth que se adaptaba mejor a las necesidades del proyecto, se llevó a cabo un nuevo diseño de la placa electrónica mucho más optimizado que el explicado inicialmente.

En los sucesivos apartados se explicará en mayor profundidad el esquema general, el circuito esquemático y la PCB del diseño electrónico finalmente adoptado.

#### 4.4. Diseño electrónico final

A continuación se muestra los componentes principales que integran el diseño electrónico finalmente adoptado.

#### 4.4.1. Placa Principal

Como ya se explicó anteriormente, el esquema de esta placa incluirá todos los componentes necesarios para la ejecución de las funciones principales del diseño electrónico, tales como el control del motor a través del microcontrolador, la lectura del encoder, la comunicación bluetooth y la adaptación de los niveles de tensión de la alimentación. Los principales componentes de la placa principal se enumeran a continuación:

## Modulo bluetooth

Dispositivo que permite establecer una comunicación inalámbrica entre el microcontrolador y un dispositivo móvil dotado de conexión bluetooth, a través del cual el usuario mandara los comandos necesarios para el correcto funcionamiento del prototipo.

## Microcontrolador

Circuito integrado que incluye todos los elementos necesarios para la ejecución del programa grabado en su memoria y desarrollar así el conjunto de funciones requeridas por el prototipo.

### **Motor DC**

Actuador encargado de dotar al prototipo de la velocidad y par necesario para permitir el ascenso y descenso del prototipo.

### **Puente en H**

Driver que permite modular el duty del motor DC en ambos sentidos, es decir, controlar la velocidad y el sentido de giro del eje del motor de forma simultánea.

### **Encoder**

Permite contabilizar las revoluciones del eje del motor, lo que se puede traducir a un control de la posición del motor o de su distancia recorrida e identificar si esta tiene lugar en un sentido de avance u otro.

### **Batería recargable**

Fuente de energía primaria que genera una tensión de 7.4V. Aprovechando que el motor puede alimentarse hasta 9V, se emplea esta fuente para alimentarlo directamente a través de los pines correspondientes del puente en H. Este voltaje también se emplea como tensión de entrada del regulador de tensión.

### **Regulador tensión**

Suministra la tensión de 5V requerida por el microcontrolador, su circuito de programación (pickit3), el encoder, el modulo bluetooth y la alimentación lógica del puente en H a partir de los 7.4V que genera la batería recargable seleccionada.

### **Oscilador externo**

Cristal de cuarzo de 4MHz que permite una sincronización más precisa de la velocidad de transferencia entre el PIC y el modulo bluetooth.

#### **4.4.2. Placa de ampliación**

La realización de esta placa adicional tiene por objeto la incorporación de una serie de LEDs al diseño electrónico ya existente, así como la posibilidad de controlar su apagado y encendido de forma manual o automatizada mediante el diseño de diferentes secuencias de funcionamiento. Los componentes principales de la placa de ampliación son:

#### **Adaptación LEDs**

Formado por un transistor bipolar NPN y una resistencia por cada línea de control. Su objetivo es adaptar las señales procedentes del microcontrolador de la placa principal para permitir el correcto funcionamiento de las secuencias de encendido y apagado de los LEDs

#### **LEDs**

Diodos LED de colores variados que servirán como indicadores luminosos, señales de aviso o elementos de carácter ornamental.

## 4.5. Circuito esquemático

Tras seleccionar los componentes principales y elaborar un diagrama básico del diseño electrónico, se procede al diseño del circuito esquemático que muestre con detalle todas las conexiones requeridas para que cada elemento funcione e interactúe con el resto de forma adecuada. Para realizar esta tarea se empleó el módulo ISIS del software Proteus® 8 Professional.

### 4.5.1. Placa Principal

Esta placa incluye los componentes principales del diseño electrónico, como el PIC, el motor, el encoder, el puente en H, el módulo bluetooth o la batería. A continuación se profundizará en las conexiones realizadas para el diseño del esquemático.

#### Alimentación y adaptación de voltaje

El circuito electrónico se alimenta a través de una batería que suministra 7.4V, tensión que se emplea de forma directa para alimentar el motor DC. Sin embargo el resto de componentes electrónicos integrados en la placa trabajan a una tensión de 5V, por lo que es necesario incorporar al diseño del circuito un regulador de tensión que disminuya el voltaje de entrada de la batería. Siguiendo el conexionado recomendado por el fabricante del LM7805 (incorporando dos condensadores cerámicos de desacoplo de 330 y 100 nF) e introduciendo los 7.4V a la entrada, se obtiene el voltaje de 5V deseado a la salida del regulador, tal y como se observa en la figura 4.14.

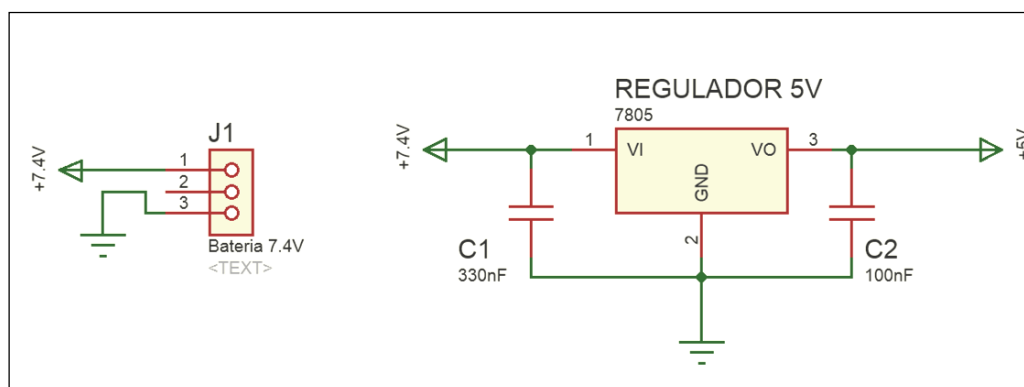


Figura 4.14. Alimentación de la PCB

Cabe mencionar que el diseño de la placa preliminar contaba además de lo mencionado, con un regulador de tensión de 3.3V. Sin embargo la adquisición del HC-06, el cual se puede alimentar a 5V al igual que el resto de componentes de la placa, permitió prescindir del regulador de tensión de 3.3V para el diseño de la placa final, ya que únicamente era necesario para alimentar el módulo RN-42 inicialmente impuesto. Esta medida permitió simplificar el diseño de la adaptación de voltajes de la placa final y reducir espacio en la PCB respecto al diseño preliminar.

#### Conexión del Módulo Bluetooth

Según las especificaciones, el Bluetooth seleccionado (HC-06) debe alimentarse a una tensión de 3.3V. No obstante, el módulo adquirido viene integrado en una placa de adaptación que permite alimentarlo de 3.6 a 6V, por lo que el pin Vcc se puede conectar directamente a la salida del regulador de voltaje de 5V antes mencionado.

Como en todas las comunicaciones asíncronas, es importante recordar que el pin Tx de transmisión del módulo bluetooth debe estar conectado con el Rx de recepción del PIC y viceversa para que el intercambio de datos se efectúe. Sin embargo los pines Tx y Rx del módulo Bluetooth están limitados para trabajar solo a 3.3V aunque la alimentación del mismo sea de 5V. Dado que el PIC está alimentado a 5V y su pin de salida Tx transmite una señal del mismo voltaje, es necesario realizar un circuito de adaptación que disminuya los niveles de voltaje de dicha señal para que el terminal Rx del módulo Bluetooth que trabaja a 3.3V no salga dañado. Para ello se recurre a un circuito basado en un diodo zener de 3.3V y una resistencia. Teniendo en cuenta que en el zener caen 3.3V, el voltaje que soportará la resistencia es de 1.7V. Si además se tiene en cuenta que las resistencias disponibles tienen una potencia de 1/2W, la corriente máxima que puede soportar no debe superar los 0.15A. Por lo tanto, según la ley de Ohm, la R mínima de la resistencia requerida debe ser de  $11\Omega$  (valor comercial más próximo  $18\Omega$ ).

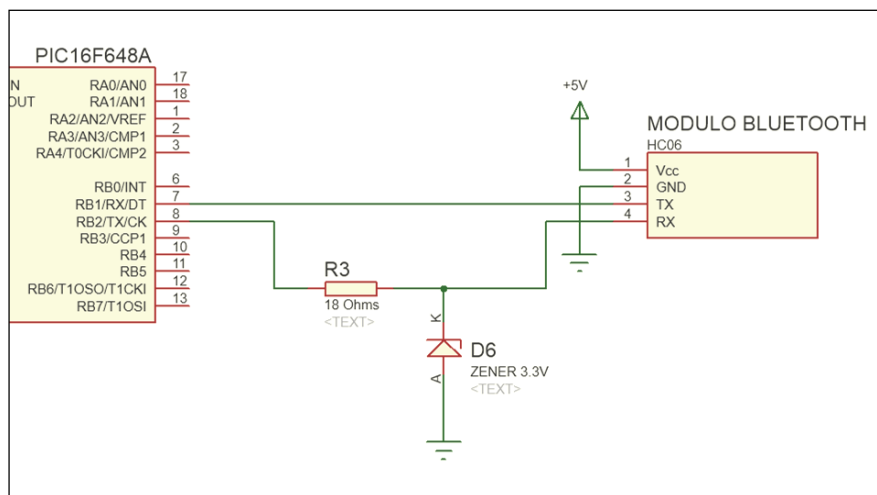


Figura 4.15. Circuito de adaptación PIC-módulo Bluetooth

Por otra parte, no es necesario convertir la señal Tx de salida de 3.3V que transmite el módulo bluetooth a los 5V a los que trabaja el PIC, ya que el *Input High Voltage* ( $V_{IH}$ ) del pin Rx para una alimentación de 5V es de 2V. Esto quiere decir que el PIC puede reconocer como estado alto (1) tanto una señal de 5V como de 3.3V por este pin, por lo que en este caso no se requiere de ningún circuito de adaptación extra. El esquema resultante se ilustra en la figura 4.15.

Para que tanto el PIC como el módulo Bluetooth puedan comunicarse sin problema es necesario, entre otras cosas, que ambos dispositivos trabajen a la misma velocidad de comunicación en baudios (bits/seg). Dado que el módulo HC-06 trabaja por defecto a 9600 baudios, para que el PIC transmita a la misma velocidad basta con usar un oscilador de 4MHz (para más información véase el documento Anexos VII – Cálculos programación). Según el datasheet, el PIC empleado cuenta con un oscilador interno de 4MHz. Sin embargo, para este tipo de aplicaciones se recomienda el uso de un oscilador externo con el fin de obtener una mayor precisión en la comunicación, por lo que se decide incorporar un cristal de cuarzo de 4MHz al microcontrolador.

### Conexión motor-microcontrolador

Como en el presente proyecto solo se requiere el control de un solo motor DC bidireccional, se ha decidido puentear los pines análogos del puente en H integrado seleccionado (L298) para aprovechar todos los terminales y así aumentar la corriente máxima que puede soportar hasta los 3,5A por cada pin.



Las conexiones de salida del puente en H al motor se efectúan a través de los terminales OUT1 y OUT2, mientras que las de entrada al puente en H desde el PIC se realizan a través de los pines IN1 e IN2. Para que el motor gire, el PIC debe mandar señales lógicas invertidas por cada uno de los pines mencionados. Si se introduce un 1 lógico en IN1 y un 0 lógico en IN2 se produce un voltaje de 7.4V en OUT1 y de 0V en OUT2, lo que hace que el motor gire en una dirección. Si se invierten las entradas (IN1=0, IN2=1) se obtendrá 0V en OUT1 y 7.4V en OUT2, lo que modifica el sentido de giro del motor. Con el fin de economizar los pines del PIC, se ha optado por conectar un solo pin digital a IN1 y enviar la señal invertida a IN2. Para ello se ha empleado un inversor basado en un transistor NPN y dos resistencias de 1K y 10K. De esta forma se controla el giro del motor desde el microcontrolador.

Por otro lado, para regular la velocidad del motor, se conectan los pines ENABLE del puente en H a la salida del módulo CCP1 del PIC, el cual transmite una señal PWM modulada en función del valor del duty configurado. De esta forma, el % de la señal PWM en ON establece la fracción de tiempo en la que el puente está dando corriente al motor y por lo tanto determina la velocidad del mismo. Las conexiones de entrada al puente en H mencionadas y el circuito inversor se muestran en la figura 4.16.

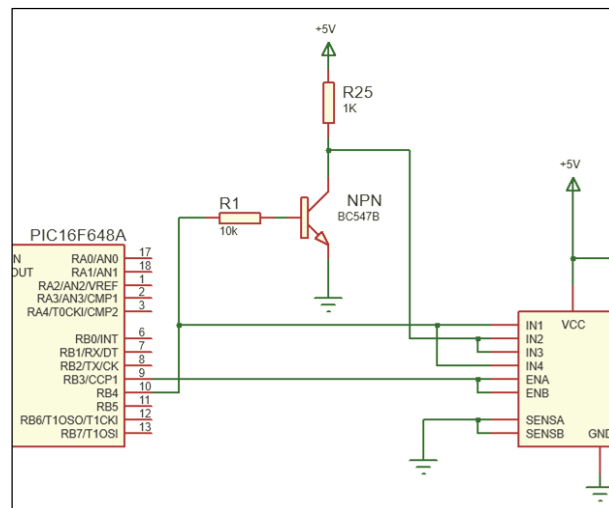


Figura 4.16. Circuito inversor y conexiones de entradas al puente en H

La hoja de especificaciones del L298 recomienda conectar entre los terminales de salida (OUT1 y OUT2) y el motor diodos rectificadores con un intervalo de recuperación menor de 100ns. Teniendo en cuenta la disponibilidad de componentes, se han adoptado diodos rectificadores de rápida recuperación (fast recovery) MUR160, que cuentan con una  $t_s$  de 30ns.

Como se mencionó en apartados anteriores, se ha decidido alimentar el motor DC a un voltaje de 7.4V. Por lo tanto, se debe suministrar esa misma tensión al puente en H para que éste abastezca al motor de la alimentación requerida para su correcto funcionamiento. Por otro lado, para la alimentación lógica se ha adoptado un voltaje de 5V. A este circuito se le añaden condensadores de desacoplo de tipo cerámico con un valor de 100 nF conectados en paralelo a ambas alimentaciones para amortiguar los picos de descarga durante el transitorio de corriente de arranque del motor. Todas las conexiones mencionadas se ilustran en la figura 4.17.

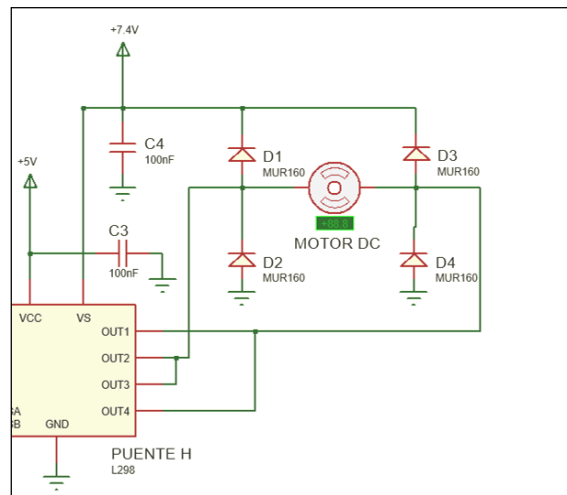


Figura 4.17. Alimentaciones y conexiones de salida del puente en H

### Encoder-microcontrolador

Ya que el encoder empleado tiene la posibilidad de alimentarse en un rango de 3.5 a 20V, se ha decidido suministrarle un voltaje de 5V para que no haya problemas de incompatibilidad en los niveles de tensión de las señales enviadas entre el encoder y el microcontrolador (también alimentado a 5V). Como ya se explicó, el encoder seleccionado cuenta con dos canales de emisión que envían dos señales desfasadas  $\pi/2$ : de la primera se extrae la velocidad del motor, y de la segunda el sentido de giro. El primer canal se conecta al pin RB0 del PIC para aprovechar la particularidad de que este pin tiene asignada una interrupción por cambio de flanco externo, lo que facilitará posteriormente el conteo de pulsos en la fase de programación. El segundo canal se debe conecta a un pin digital del microcontrolador. En este caso se adoptó el pin RB5. Según el datasheet, es necesario además conectar una resistencia de 1K entre cada uno de los canales de salida y la alimentación para poder transmitir los pulsos del encoder correctamente. El conexionado completo de este bloque se ilustra en la figura 4.18.

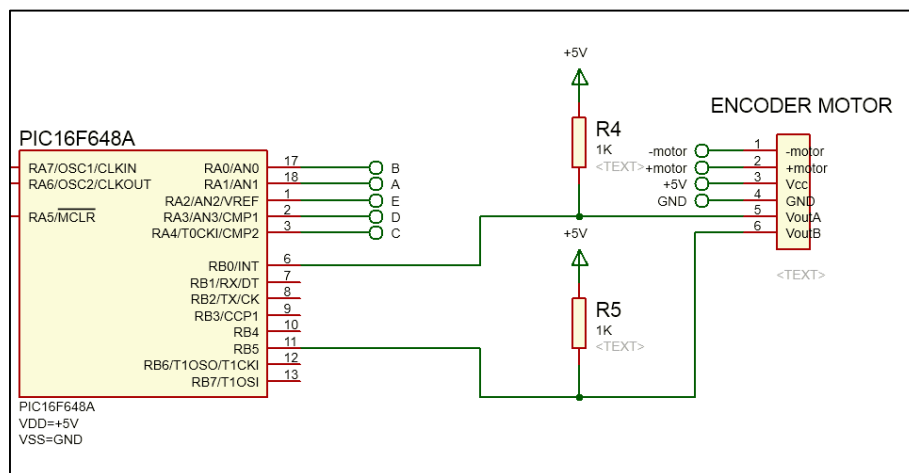


Figura 4.18. Conexiones del encoder al microcontrolador

### Circuito de programación del PIC

Como ya se mencionó, se eligió el Pickit3 de la empresa Microchip® como herramienta para la depuración y programación el PIC. Siguiendo las indicaciones del fabricante, se realizó un circuito



de adaptación para poder conectar el Pikit3 con el microcontrolador a través de los pines MCRL, PGD y PGC (además de los pines de alimentación +5V y GND), como el que se ve en la figura 4.19.

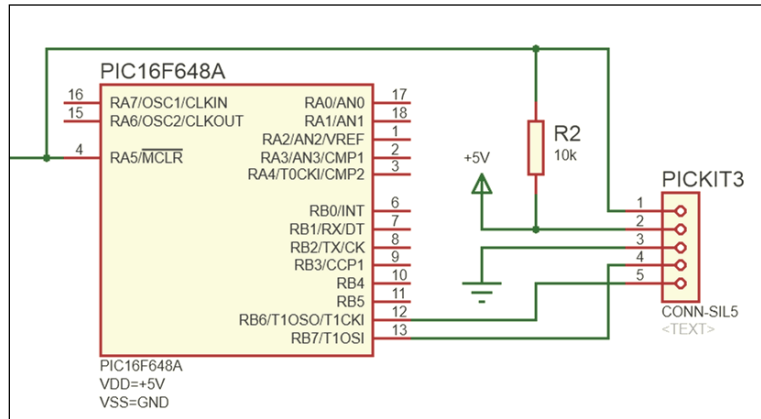


Figura 4.19. Circuito de adaptación del Pikit3 al microcontrolador

### Circuito Reset

El PIC 16F648A cuenta con diferentes tipos de reinicio. En este caso se decidió configurar el pin MCLR para que funcione como un reset externo, conectando dicho pin por un lado a la alimentación, y por otro a un pulsador conectado a masa. De esta manera, el PIC estará operativo mientras el pulsador no esté accionado (pin MCLR en estado alto). Por otra parte, el PIC permanecerá inactivo durante el intervalo de tiempo que el pulsador reset esté accionado (nivel lógico del pin MCRL bajo). El esquema del circuito adoptado se ilustra en la figura 4.20.

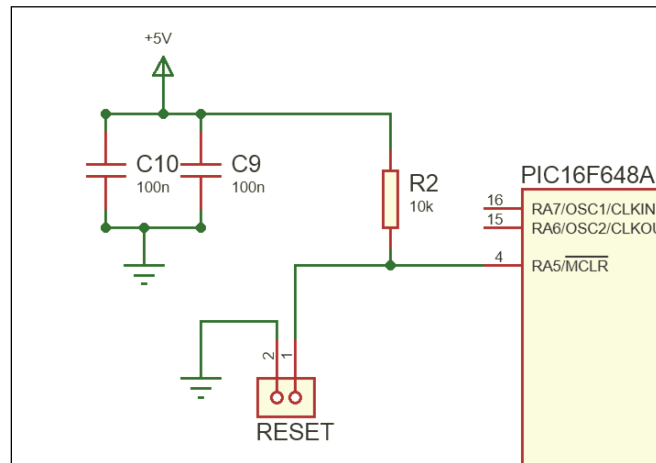


Figura 4.20. Circuito de reset externo y condensadores de desacoplo

Por ultimo cabe destacar que los 5 pines del microcontrolador que no han sido empleados para ninguna aplicación se llevaron a un conector junto con la masa y la alimentación del circuito de +5V para poder abastecer a la segunda placa electrónica.

### 4.5.2. Placa de ampliación

En el siguiente subapartado se muestra el circuito esquemático llevado a cabo para la segunda placa electrónica, que tiene por objeto el control de una serie de diodos LEDs a través de los pines sobrantes

del microcontrolador de la placa principal, la cual también suministrará una tensión de +5V para alimentar la placa de ampliación.

### Adaptación de los LEDs

Se ha decidido emplear un circuito regulador de las señales de control de los LEDs basado en un transistor NPN bipolar BC547 y una resistencia de 10K en su base, tal y como se muestra en la figura 4.21. Dado que se dispone de 5 pines sobrantes del microcontrolador de la placa principal, se ha decidido incorporar en el diseño de la placa de ampliación 5 circuitos reguladores como el mencionado, uno para cada línea de control. Como el empleo de 5 LEDs resulta en cierta medida escaso para incorporarlos al diseño del prototipo, se decidió incorporar dos LEDs por cada línea de control, contactándolos entre sí en paralelo con un terminal a la salida del transistor NPN y otro a la alimentación para cerrar el circuito. Es decir, la placa de ampliación tendrá la capacidad de controlar el encendido y apagado de un total de 6 LEDs, uno por cada línea excepto una de ellas que tendrá dos LEDs. Para ello, desde el microcontrolador se programaran diferentes secuencias que envíen a través de los pines digitales sobrantes señales en estado alto para encenderlos y señales en estado bajo para apagarlos.

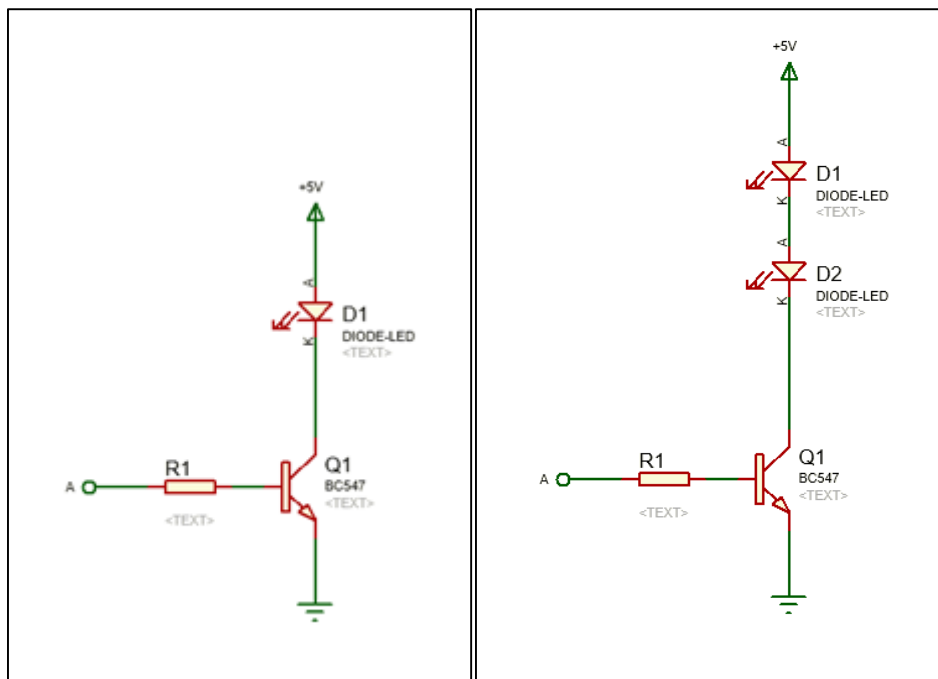


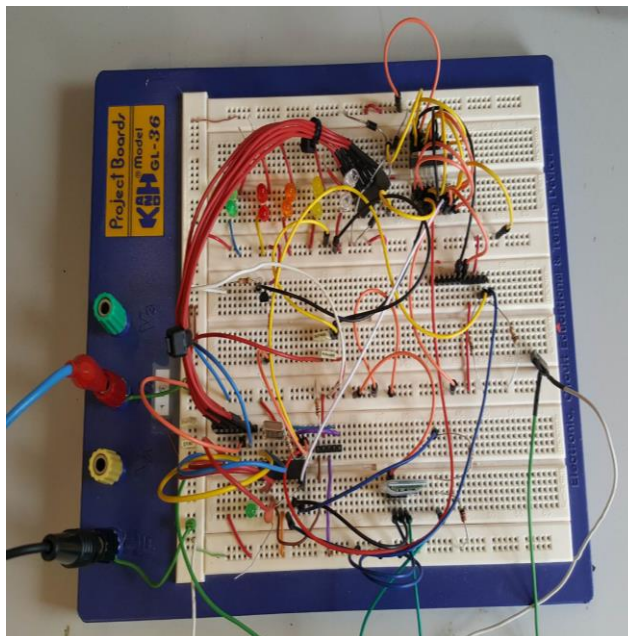
Figura 4.21. Circuito de adaptación de las señales de los LEDs

Finalizado el diseño del circuito esquemático global y explicado en detalle el conexionado de los componentes de ambas placas, se procede a una fase previa de comprobación de su funcionamiento antes de continuar con las fases posteriores del diseño electrónico.

### 4.6. Simulación del circuito diseñado

Una vez elaborados los circuitos esquemáticos de las dos placas con todas las conexiones necesarias, se decidió implementarlos en una placa de pruebas (ProtoBoard) para simular el funcionamiento del diseño electrónico adoptado de manera previa a la elaboración de la PCB.

La placa de pruebas permite conectar y desconectar fácilmente todos los componentes electrónicos según el circuito esquemático diseñado anteriormente sin necesidad de soldarlos de manera permanente en una placa. Gracias a esta herramienta se pueden hacer infinidad de pruebas de manera sencilla, permitiendo rediseñar aquellas partes del circuito que no cumplen las funcionalidades requeridas y alcanzar así la optimización deseada del diseño electrónico.



*Figura 4.22. Simulación del esquemático en placa de pruebas (ProtoBoard)*

Tras comprobar que el circuito esquemático diseñado funciona correctamente en la placa de pruebas (figura 4.22), se procede a la elaboración de la PCB que posteriormente permitirá implementar de manera física el diseño electrónico adoptado.

## **4.7. Placa de circuito impreso**

Una vez diseñados los circuitos esquemáticos de las dos placas con todas las conexiones necesarias y verificado su correcto funcionamiento en una placa de pruebas, se procede al diseño de sus correspondientes tarjetas de circuito impreso. Para ello se empleó el módulo ARES del software Proteus® 8 Professional.

### **4.7.1. Placa principal**

Durante esta fase de diseño se ha pretendido realizar una PCB lo más pequeña y compacta posible, ya que uno de los principales criterios de diseño del prototipo al que se va a incorporar la placa es sus reducidas dimensiones.

Cabe mencionar que el empleo final del módulo bluetooth HC-06, permitió prescindir de la compleja labor de soldadura que requerían los 32 pines del módulo RN-42 (componente SMD) y de la elaboración de la placa adicional requerida para su montaje en la placa principal. La posibilidad de conectar el módulo HC-06 mediante la tira de 4 pines presente en su placa de adaptación, redujo considerablemente las dimensiones finales del diseño de la PCB.

El diseño de la placa se ha abordado adoptando las pertinentes separaciones, además de emplear un tamaño de pista lo suficientemente ancho como para poder transmitir las corrientes de forma eficiente. Por seguridad se empleó un grosor de pista de 40 th para las pistas de potencia y 30 th pulgada para las de señal, guardando un margen de 10th entre pista-pista y pista-pad. Además, el plano de masas generado en la fase final de diseño cuenta con una distancia al borde de la placa de 60th.

Una de las mayores dificultades que entraña el diseño de la PCB es que no lleguen pistas por la cara de arriba (TOP) a determinados componentes conflictivos, cuyos pads se encuentran tapados por el propio integrado, resultando inaccesibles de soldar. Existen herramientas que facilitan este tipo de soldaduras, pero para esta aplicación se ha descartado dicha posibilidad ya que además de complicarse el montaje de la placa, las pistas podrían llegar a desgastarse con la fricción del propio componente y provocar cortocircuitos no deseados en la placa. En el caso de la presente PCB, dichos componentes conflictivos son las 6 tiras de pines macho que cumplen la función de conectores (para la conexión del Pikit3, la batería, el módulo Bluetooth, el motor y el encoder, el puente en H y para sacar los pines sobrantes del PIC). En cambio, las resistencias, los transistores, los diodos, los condensadores y los zócalos de contorno redondeado empleados para conectar el PIC, se pueden soldar por la capa TOP con relativa facilidad.

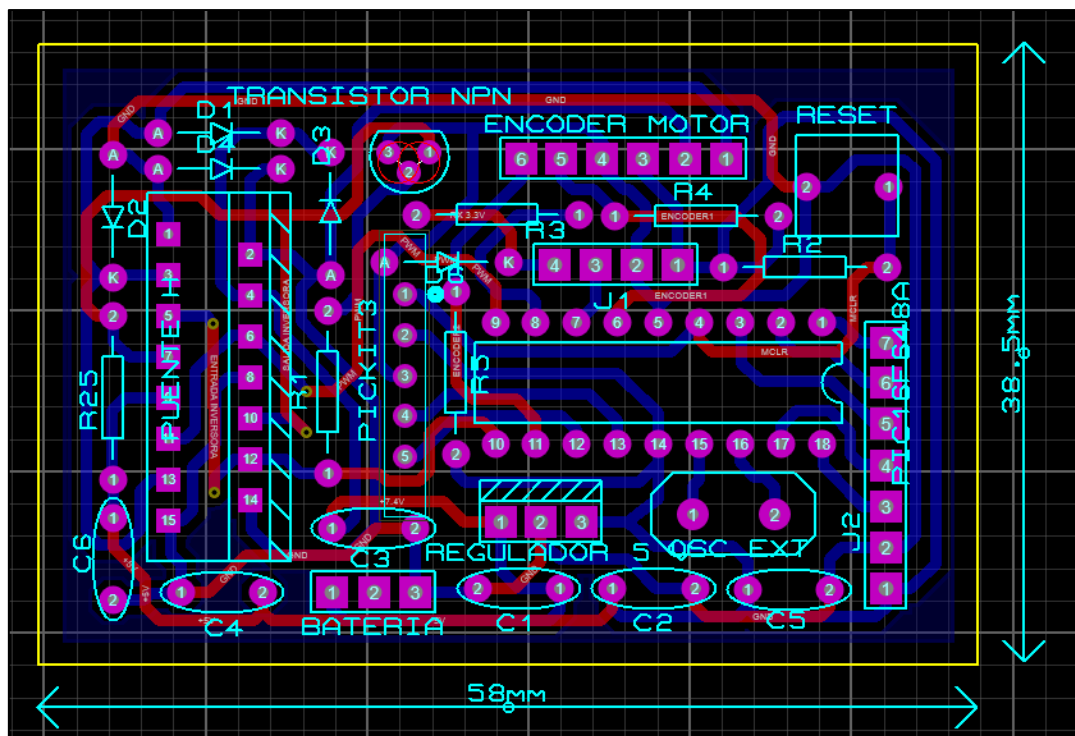


Figura 4.23. Diseño de la placa de circuito impreso principal en ARES

Como se puede observar en la figura 4.23, se logró completar un diseño de la PCB que se ajusta adecuadamente a los requerimientos del diseño electrónico. A diferencia del primer diseño preliminar de la PCB mencionado en la fase inicial de este capítulo, en esta placa se ha conseguido optimizar en gran medida sus dimensiones máximas (de 82.5x48mm a 58x38.5mm), evitando además la llegada de pistas por la cara TOP a los componentes conflictivos antes mencionados, circunstancia que dificultó enormemente la tarea de montaje y soldadura de componentes de la primera PCB.

Dado el elevado número de tiras de pines, para poder hacerles llegar todas sus pistas por la cara BOTTOM fue necesario realizar 4 vías en la placa (todas ellas situadas en las conexiones del puente en H debido a la dificultad de puentear todos sus terminales análogos). La visualización 3D del diseño final de la PCB se puede observar en la figura 4.24.

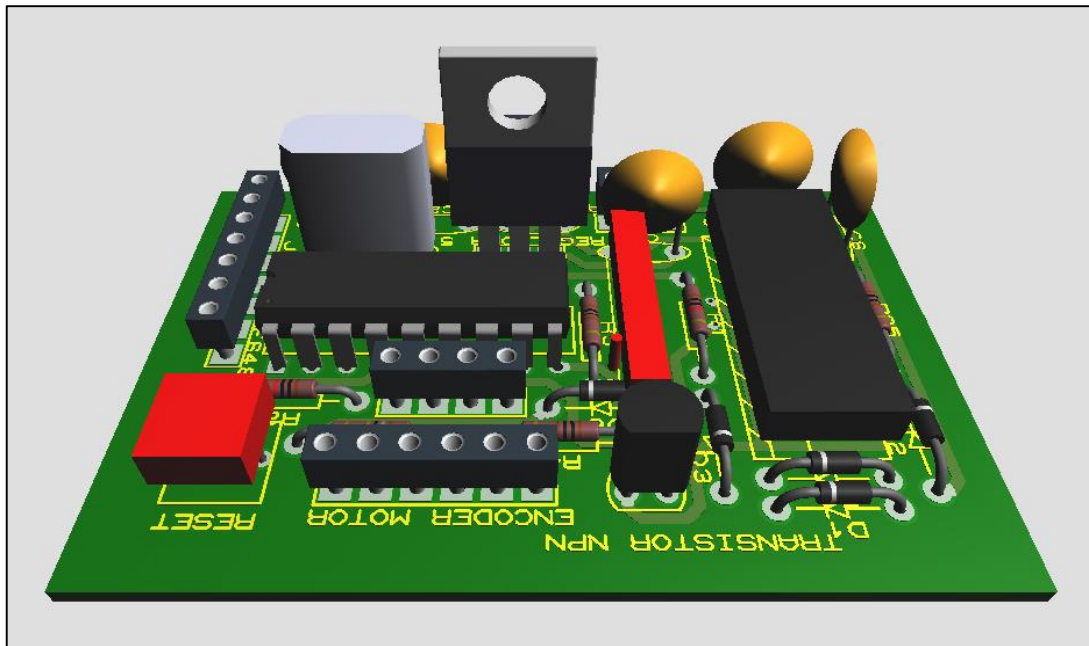


Figura 4.24. Representación 3D del diseño de la PCB principal

#### 4.7.2. Placa de ampliación

El diseño de esta segunda placa entrañó una dificultad muchísimo menor en comparación con la placa principal anteriormente desarrollada, ya que la presente solo va a contar con diodos LED, resistencias y transistores NPN para su adaptación y tiras de pines macho que hagan las veces de conectores.

En la figura 4.25 se puede observar el esquema realizado en ARES de la placa de ampliación, cuyas dimensiones (27.3x25.5mm) son muchísimo más reducidas que las de la placa principal. Este diseño se adapta perfectamente a las especificaciones técnicas descritas en capítulos anteriores, que demandaban un diseño electrónico optimizado, eficiente y de pequeñas dimensiones.

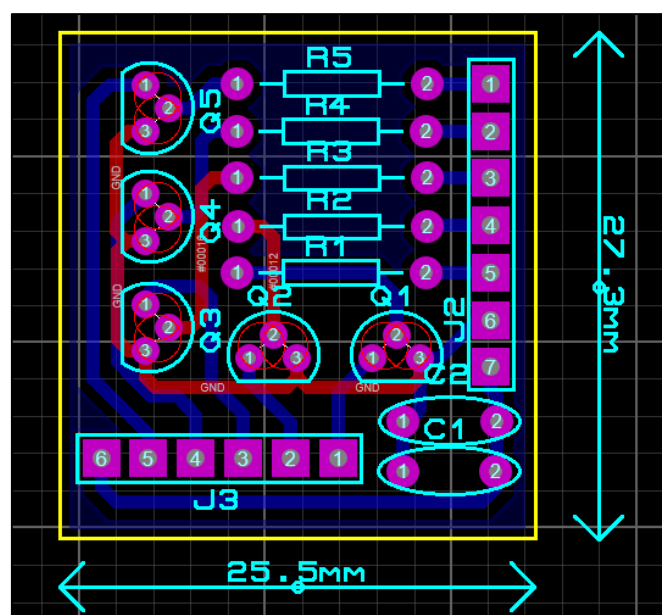
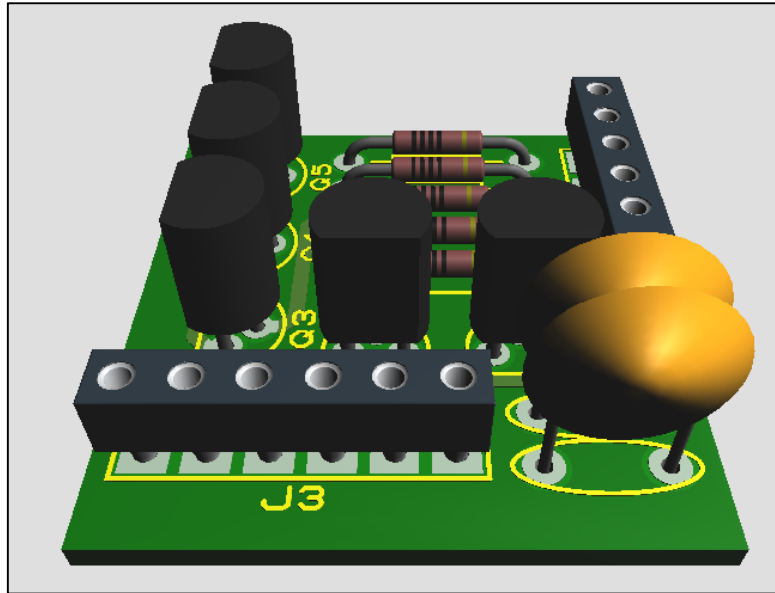


Figura 4.25. Diseño de la placa de circuito impreso de ampliación en ARES

Una vez más, la visualización virtual tridimensional del diseño final de la PCB se puede observar en la figura 4.26. Cabe mencionar que los LEDs van a ir incorporados en el KoalaBot Mini, distribuidos de forma radial a lo largo del chasis del prototipo. Esto quiere decir que los LEDs propiamente dichos no irán montados ni soldados en la placa de ampliación, sino que estarán fuera y comunicados a la misma a través de un conector de 5 pines, uno para cada línea de control de LEDs.



*Figura 4.26. Representación 3D del diseño de la PCB de ampliación*

## 5. DISEÑO DEL CONTROL

En este capítulo se procede a la descripción de todas aquellas cuestiones relacionadas con el diseño del software para que el KoalaBot Mini pueda desempeñar las funciones requeridas de manera controlada.

Además de dejar bien delimitadas las funciones de programación del hardware del propio prototipo, se pretende realizar una descripción de la programación del dispositivo de control remoto, así como del diseño de la interfaz de comunicación con el usuario.

### 5.1. Introducción

El prototipo KoalaBot mini debe tener la capacidad de ejercer un movimiento de ascenso o descenso respecto al poste al que se encuentra acoplado.

Además de ejercer un control sobre el funcionamiento del motor de traslación, el usuario también debe tener la opción de controlar el encendido y apagado de una fila de 6 LEDs situados en la periferia de la carcasa del prototipo.

La ejecución de las funciones mencionadas estará condicionada por el modo de funcionamiento configurado.

### 5.2. Descripción del funcionamiento

El KoalaBot Mini debe poder ser acoplado en postes de sección circular constante, sin obstáculos o relieves en su superficie, de diámetros comprendidos entre 25 y 45 mm. Gracias a la implementación de un actuador (motor DC), el KoalaBot Mini debe ser capaz de ascender y descender a lo largo de la superficie externa del poste donde ha sido acoplado. El usuario debe tener a su disposición la capacidad de controlar 5 líneas de control para regular el estado de 6 LEDs (uno por línea más uno adicional en una de ellas).

El control del ascenso, el descenso y la parada del prototipo, además del control del encendido y apagado de los LEDs, estará gobernado de manera remota mediante un dispositivo móvil (Tablet o smartphone) manejado por un usuario determinado. El flujo de información entre el dispositivo móvil y el KoalaBot Mini se ejecuta mediante una comunicación inalámbrica vía Bluetooth. Para ello, un módulo bluetooth implementado en el hardware electrónico se comunica con el microcontrolador mediante una comunicación serie asíncrona. Desde el microcontrolador se envía y recibe la información necesaria para el correcto funcionamiento de las funcionalidades de control del KoalaBot Mini.

El dispositivo tendrá también la opción de seleccionar entre dos modos de funcionamiento, los cuales se describen en los siguientes subapartados.

#### 5.2.1. Modo Manual

En este modo de funcionamiento, el encendido y apagado del motor de traslación será controlado por el usuario manualmente a través de la interfaz de control. El usuario también tendrá la posibilidad

de controlar el duty del motor, así como su sentido de giro. Esto conlleva que el usuario podrá enviar comandos in situ para arrancar el prototipo, hacerlo ascender, descender o detenerlo, además de poder regular su velocidad de movimiento. En este modo el usuario también podrá controlar de forma manual el encendido o apagado de los 6 LEDs, uno por cada una de las 5 líneas más otro adicional.

### **5.2.2. Modo Automático**

En este modo de funcionamiento, el usuario no controla las funcionalidades del dispositivo de forma manual, sino que tendrá la posibilidad de elegir entre diversas funciones preprogramadas a su disposición para que el KoalaBot Mini actúe de forma automática. Dentro del mismo habrá otros dos modos de funcionamiento autónomo:

#### **Modo temporizado**

Durante este modo de funcionamiento, el usuario podrá configurar mediante la interfaz un intervalo de tiempo, durante el cual el prototipo estará en funcionamiento desde el momento en el que active su actividad. Una vez transcurrido ese tiempo, el dispositivo se detendrá de forma automática. Las opciones de tiempo programadas entre las que podrá elegir el usuario son 1, 2, 3, 4 y 5 segundos de actividad.

#### **Modo posición**

Al igual que en el caso anterior, el KoalaBot Mini se encontrará en modo autónomo desde que el usuario activa su funcionamiento, deteniéndose en este caso en el momento que el dispositivo alcance la distancia previamente configurada por el usuario desde la interfaz de control. Las opciones de distancia programadas entre las que puede elegir el usuario son 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 metros recorridos.

Además, el modo automático incluirá una serie de secuencias ya configuradas de encendido y apagado de la fila de LEDs incorporada en la carcasa del motor. A diferencia del modo manual, en el que el usuario controlaba in situ el encendido o apagado de cada pareja de LEDs, en este modo el usuario no tendrá un control de cada par, si no que decidirá adoptar una secuencia de actividad preprogramada u otra.

## **5.3. Diseño del software del microcontrolador**

Para el diseño del control del que se implementara en el hardware electrónico del KoalaBot se ha empleado lenguaje C específico para microcontroladores. A continuación se detallaran el software empleado para su elaboración, los requisitos de programación y una breve descripción de las partes más importantes del código C diseñado.

### **5.3.1. Entorno de programación**

Para el desarrollo e implementación del código fuente, y de la aplicación del microcontrolador en general se ha usado el software PIC C Compiler, cuya interfaz se visualiza en la figura 5.1. Se trata de un compilador de lenguaje C del fabricante CCS, es de código abierto y tiene numerosas actualizaciones y soporte.



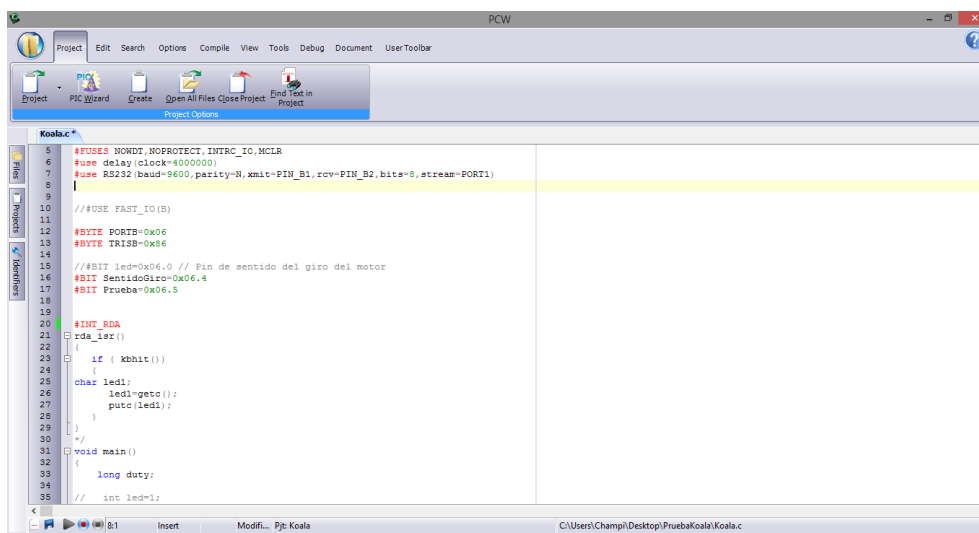


Figura 5.1. Interfaz del software PIC C Compiler

### 5.3.2. Requisitos de programación

Dadas las características de la aplicación a controlar, el código de programación implementado en el PIC debe cumplir las siguientes funcionalidades:

- Se requiere la programación adecuada del puerto universal asíncrono USART para que tenga lugar la correcta comunicación serie asíncrona entre el microcontrolador y el modulo bluetooth. Además de los diferentes parámetros que permiten la comunicación (bit de paridad, configuración de los pines de emisión y recepción, velocidad de transmisión, etc), se requiere la habilitación de la interrupción por datos en USART para ejecutar la función que procese los comandos recibidos por el microcontrolador.
- Debido a la necesidad de una alta precisión en la transmisión de datos del adaptador Bluetooth, se ha decidido conectar un reloj externo a los pines del microcontrolador destinados a ese fin, por lo que se deberá configurar correctamente el uso del reloj externo en el código.
- El envío y recepción de información entre el microcontrolador y el modulo bluetooth se realizara mediante variables de tipo char. Por ello, se deberá incluir las librerías necesarias para el correcto uso de las funciones de manejo de caracteres y cadenas.
- Dada el requerimiento de la aplicación de controlar la velocidad de un motor DC, será necesaria la configuración del módulo CCP en modo PWM. Esto a su vez requiere la programación del timer2 en función de la frecuencia deseada de la señal PWM.
- La necesidad de implementar un modo automático en función del tiempo transcurrido, obliga a configurar en el código un registro temporizador. Teniendo en cuenta que el Timer2 se encuentra ocupado, se ha seleccionado el Timer1 por delante del timer0 debido a su mayor capacidad de conteo (registro de 16 bits frente a 8) y la posibilidad de activar y detener su funcionamiento de forma manual. También se requerirá la habilitación de la interrupción provocada por su desborde.
- Una de las principales opciones para programar el conteo de los pulsos emitidos por el encoder magnético pasaba por configurar el módulo CCP en modo Captura. Sin embargo y dado que

el módulo CCP se encuentra ocupado, será necesaria la configuración de la interrupción por flanco externo (asignada al pin RB0) para interpretar y traducir los pulsos del encoder a distancia lineal recorrida por el motor.

- La particularidad de implementar 5 líneas de control de encendido y apagado de LEDs, obliga a configurar dichos pines como salidas para su correcto funcionamiento.
- Las líneas del microcontrolador conectadas al encoder magnético deberán estar correctamente programadas para que funcionen como entradas del PIC.
- Las líneas de control del motor, es decir, la señal PWM que modulo la velocidad y la señal digital que define el sentido de giro, deben programarse desde el microcontrolador como salidas.

### **5.3.3. Desarrollo del programa**

Para representar gráficamente el diseño del código en lenguaje C se ha elaborado un diagrama de flujo que se adjunta en el documento Anexos V – Diagramas. A continuación se describen las partes más relevantes del código de programación en C.

#### **Configuración de los fuses**

Se configuran los fuses para que el microcontrolador trabaje con un oscilador externo (cristal de cuarzo). También se deshabilita el uso del watchdog, la protección de memoria de programa y se configura el pin MCLR cumpla la función de reset del microcontrolador

*#FUSES XT,NOWDT,NOPROTECT,MCLR*

#### **Comunicación asíncrona**

Una de las más destacadas es la configuración de los módulos de transmisión y recepción USART para que trabaje en modo asíncrono.

Para ello se deben configurar correctamente los pines relativos a las líneas de Tx y Rx del PIC para que transmitan (XMIT) y reciban (RCV) respectivamente. En cuanto a la velocidad de transmisión, se programara el código para que la comunicación asíncrona tenga lugar a 9600 baudios, velocidad de transmisión usada por defecto por el modulo bluetooth. En el documento Anexos VI - Cálculos de programación, se puede consultar el porcentaje de error de la comunicación asíncrona a 9600 baudios del PIC16F648A empleando un cristal de cuarzo externo de 4MHz. Por último se configuran 8 bits de datos por carácter y se deshabilita el uso del bit de paridad.

*#useRS232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN\_B2,rcv=PIN\_B1,bits=8,stream=PORT1)*

#### **Interpretación de comandos**

Cada vez que se reciban datos por el USART, el programa debe poder procesar los comandos para, en función de los mismos, realizar una actividad otra. Para ello se habilita la mascara de interrupción RDA y la máscara global de interrupciones.

*enable\_interrupts(INT\_RDA);  
enable\_interrupts(GLOBAL);*

Cada vez que se ejecute la función de dicha interrupción, se almacenara el carácter recibido mediante la función `getchar`. Posteriormente, mediante un algoritmo de condiciones, la función evaluara su significado y la acción que debe desarrollar en función de su contenido. En la tabla 5.1 se muestra la relación entre el comando recibido y la función que ejecuta.

Comando	Función
a	Encender 1° pareja de LEDs
b	Encender 2° pareja de LEDs
c	Encender 3° pareja de LEDs
d	Encender 4° pareja de LEDs
e	Encender 5° pareja de LEDs
f	Apagar 1° pareja de LEDs
g	Apagar 2° pareja de LEDs
h	Apagar 3° pareja de LEDs
i	Apagar 4° pareja de LEDs
j	Apagar 5° pareja de LEDs
k	1° Secuencia de LEDs
l	2° Secuencia de LEDs
m	3° Secuencia de LEDs
n	4° Secuencia de LEDs
o	5° Secuencia de LEDs (apagados)
p	Subir (Modo Manual)
q	Bajar (Modo Manual)
r	Parar (Modo Manual) / Parada de emergencia (Modo Automático)
s	Velocidad Baja (Modo Manual)
t	Velocidad Media (Modo Manual)
u	Velocidad Alta (Modo Manual)
v	Iniciar Modo Posición (Modo Automático)
w	Iniciar Modo Temporizado (Modo Automático)
x	Modo Subir (Modo Automático)
y	Modo Bajar (Modo Automático)
z	Modo Cíclico (Modo Automático)

Tabla 5.1. Lista de comandos y funciones del KoalaBot Mini

### Señales de control del motor

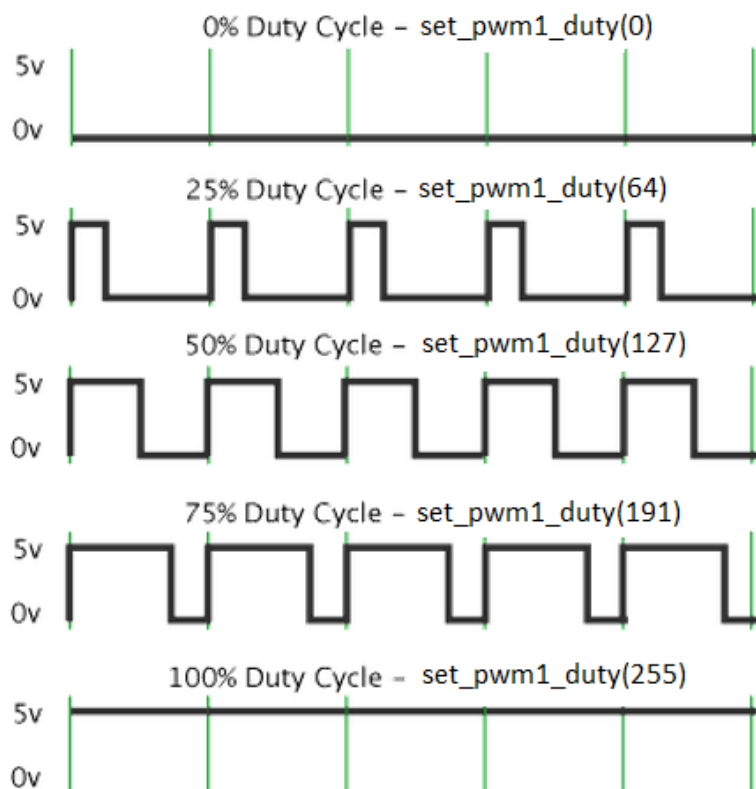
Para regular la velocidad del motor, se programara el módulo CCP1 en modo PWM. Para ello se configuran la siguiente sentencia:

```
setup_ccp1(CCP_PWM);
```

Adicionalmente, se requiere la programación del módulo temporizador timer2 para fijar la frecuencia de la señal modulada. Los cálculos de dicha configuración para la frecuencia de 500 Hz seleccionada se recogen en el Anexo VII – Cálculos de programación. La función empleada para su correcta programación es la siguiente:

```
setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,127,1);
```

En función de la velocidad requerida, se cargara mediante la siguiente sentencia un valor comprendido entre 0 (motor parado) y 255 (motor a máxima velocidad), tal y como se observa en la figura 5.2.



*Figura 5.2. Modulación por ancho de pulso*

Por ultimo no se debe olvidar la configuración del pin RB3 como salida para asegurar la correcta generación de la señal PWM.

Para controlar el sentido de giro del motor, se configurara uno de los pines digitales del microcontrolador (RB4) como salida configurando el TRISB (pin 4) como un 0. De esta manera, cuando el valor del PORTB (pin4) sea 1 el motor girara a la izquierda y cuando sea 0 lo hará a la derecha.

### **Modo tiempo**

Para su ejecución se procede a la programación del registro temporizador TIMER1. Los cálculos realizados para que el registro cuente hasta 500 ms se recogen en Anexos VII – Cálculos de Programación. Las sentencias empleadas para su configuración y precarga y son las siguientes:

```
setup_timer_1(T1_INTERNAL/T1_DIV_BY_8);  
set_timer1(3036);
```

Además se debe habilitar la interrupción por desborde del timer1, de manera que el algoritmo de control del modo temporizador se ejecute cada 500 ms.

```
enable_interrupts(INT_TIMER1);
```

Para activarlo y desactivarlo se recurrirá al pin de parada/puesta en marcha del registro temporizador TMR1ON

### **Modo posición**

Las señales de entrada procedentes del encoder magnético son procesadas por el microcontrolador a través del pin RB0 dada la particularidad de poseer una interrupción propia por entrada de flancos externos y por otro pin digital estándar (RB5). Ambos pines deben ser configurados mediante el TRISB como 1 para que trabajen como entradas.

El algoritmo de conversión de los pulsos recibidos a distancia recorrida por el dispositivo se ejecuta en la función de interrupción por flanco externo del pin RB0. Además se configura para que se detecten flancos de subida (low to high). Para ello se emplean los siguientes comandos:

```
enable_interrupts(int_ext);  
ext_int_edge(L_TO_H);
```

### **Leds**

Las líneas de LEDs seleccionadas han sido los 5 primeros pines del puerto A, por lo tanto se deben configurar como 0 mediante el TRISA para que funcionen como salidas. En la función main se recoge el algoritmo de control de las secuencias preprogramadas del modo automático de la aplicación.

## **5.4. Diseño del software del Dispositivo de control remoto**

Las especificaciones del diseño del control están dirigidas a que el hardware electrónico pueda ser controlado de manera remota mediante un dispositivo móvil, ya sea tablet o smartphone. Para la presente implementación se ha empleado un smartphone Samsung Galaxy S6, el cual cuenta con la capacidad de conectividad vía bluetooth necesaria para poder establecer una comunicación inalámbrica con el microcontrolador. Para ello, se ha diseñado una aplicación Android con el fin de que el usuario pueda ejecutar las diferentes funciones del KoalaBot Mini de forma sencilla e intuitiva.

### **5.4.1. Entorno de programación empleado**

Para el desarrollo de la app se ha empleado el software libre Google App Inventor 2, plataforma perteneciente a Google Labs®, y que permite crear aplicaciones de software para el sistema operativo Android. De forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, el usuario puede ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El editor de bloques de la aplicación utiliza la librería Open Blocks de Java para crear un lenguaje visual a partir de bloques (figura 5.3). El compilador que traduce el lenguaje visual de los bloques para la aplicación en Android utiliza Kawa como lenguaje de programación, distribuido como parte del sistema operativo GNU de la Free Software Foundation.



Figura 5.3. Entorno de programación por bloques de App Inventor 2

Paralelamente, el usuario tiene la opción adicional de diseñar la interfaz del usuario en un entorno gráfico versátil y ergonómico, que permite la implementación de botones, imágenes, cuadros de texto y otros elementos interactivos para facilitar la comprensión del usuario (figura 5.4).

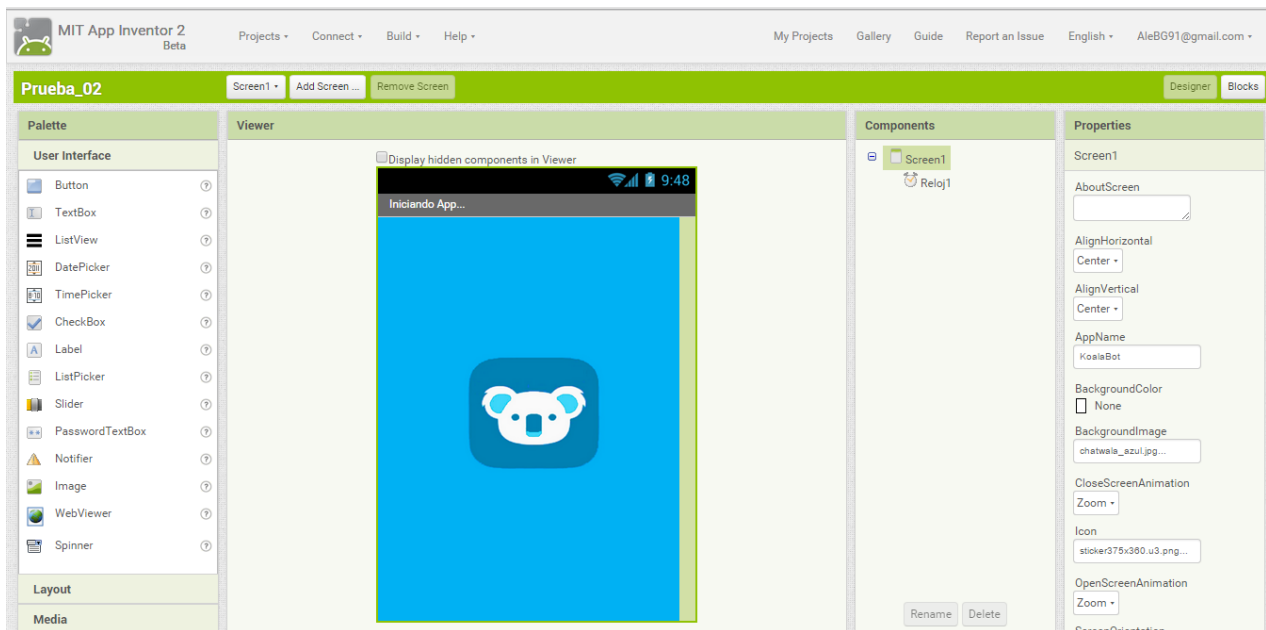


Figura 5.4. Entorno de diseño de App Inventor 2

### 5.4.2. Requisitos de programación

Según las especificaciones del prototipo a controlar, la programación de bloques y el diseño de la app implementada en el dispositivo móvil deben cumplir las siguientes funcionalidades:

- Dentro del menú principal, el usuario debe poder seleccionar entre uno de los dos modos de funcionamiento (manual o automático). Elegido uno u otro, en cualquier caso el usuario debe tener la posibilidad de poder regresar al menú inicial para seleccionar otro modo.
- Tanto para el modo manual como para el modo automático, se debe poder establecer una conexión bluetooth con el microcontrolador desde la propia App. Además la app debe poder acceder desde dentro de la aplicación a la habilitación del bluetooth del dispositivo móvil en el caso de que este se encuentre desconectado.
- En el modo manual, el usuario debe poder ejecutar los comandos básicos relativos al control del motor (subir, bajar, parar) y regular su giro hasta a 3 velocidades diferentes (baja, media, alta).
- En el modo manual, el usuario debe poder controlar in situ el encendido y apagado de la fila de LEDs de dos en dos.
- En el modo automático, el usuario podrá elegir entre los submodos de tiempo o posición.
- Dentro del submodo posición, el usuario podrá seleccionar entre una serie de valores preprogramados (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 metros) para que el dispositivo se desplace la distancia determinada.
- Dentro del submodo tiempo, el usuario podrá seleccionar entre una serie de valores preprogramados (1, 2, 3, 4, 5 segundos) para que el funcionamiento del dispositivo se ejecute en el intervalo de tiempo determinado.
- En el modo automático, e independiente del submodo, el usuario podrá programar si la actividad automatizada consistirá en un ascenso o descenso único o en un ascenso y descenso continuado durante un número de ciclos determinado. Este valor también puede ser configurable por el usuario (1, 2, 3, 4 y 5 ciclos).
- En el modo automático debe estar programada la opción de parada rápida en caso de emergencia para cualquier submodo de funcionamiento.
- En el modo automático, el usuario también podrá elegir entre una de las secuencias de encendido y apagado de LEDs preprogramadas en el microcontrolador.

#### **5.4.3. Desarrollo del programa**

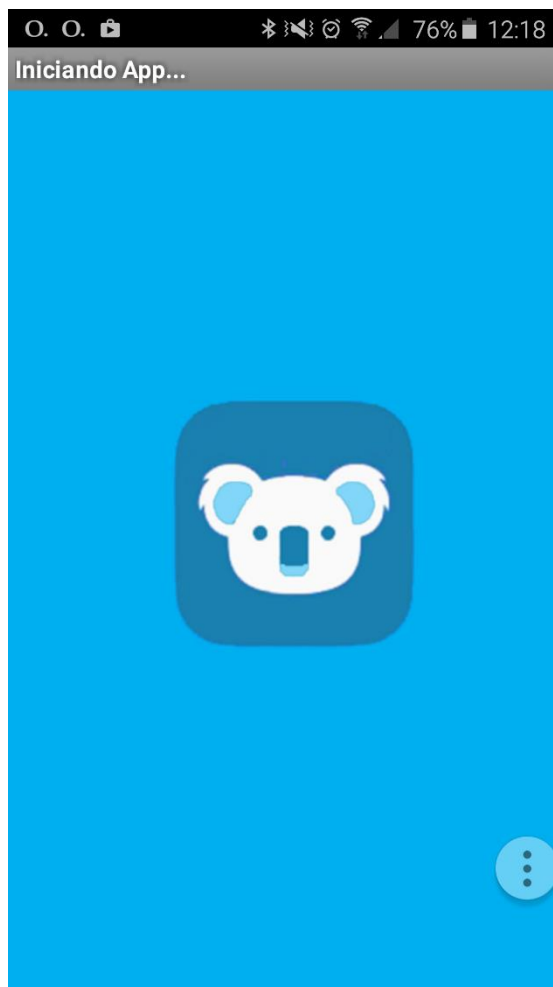
Para poder visualizar el conjunto de estados por los que pasa el software diseñado para la app y mostrar los cambios que permiten pasar de un estado a otro, se ha diseñado un diagrama de estados o StateChart, que se adjunta en el documento Anexos V – Diagramas. El código de programación de la app de control remoto diseñado con app inventor está estructurado en bloques predefinidos por el entorno de programación. De esta manera, el diseñador del software de control no tiene que escribir el código de programación a mano, como era el caso del código en C para la programación del microcontrolador. Los bloques elementales de programación ya definidos por app inventor se van anidando unos con otros como si de un puzle se tratara hasta configurar el control de todas las funcionalidades del KoalaBot Mini desde la aplicación móvil. En el capítulo código de la app de control remoto del documento Anexos VI – Códigos de Programación se puede consultar el diseño completo de esta parte del control.

#### **5.4.4. Diseño de la interfaz grafica**

A continuación se procede a ilustrar y señalar las partes más importantes de las diferentes pantallas graficas diseñadas para la app de control del KoalaBot Mini. Para ello se ha decidido adoptar el color blanco y diferentes tonalidades de azul.

##### **Pantalla inicio**

En el ámbito del diseño de las app móviles es muy común la implementación de una pantalla de inicio mientras la aplicación termina de arrancar. En la figura 5.5 se puede observar la pantalla de inicio diseñada para la app desarrollada.



*Figura 5.5. Interfaz gráfica de la pantalla de inicio*

##### **Menú principal**

Una vez cargada la app, aparece una segunda pantalla en la que el usuario debe seleccionar uno de los dos modos de funcionamiento explicados anteriormente, modo manual o modo Automático. En esta pantalla también se facilita una opción de ayuda para orientar a los usuarios primerizos, así como un botón para salir de la aplicación (figura 5.6)





*Figura 5.6. Interfaz gráfica del menú principal*

### **Modo Manual**

Dentro del modo manual, el usuario se encuentra con la siguiente interfaz gráfica (figura 5.7).

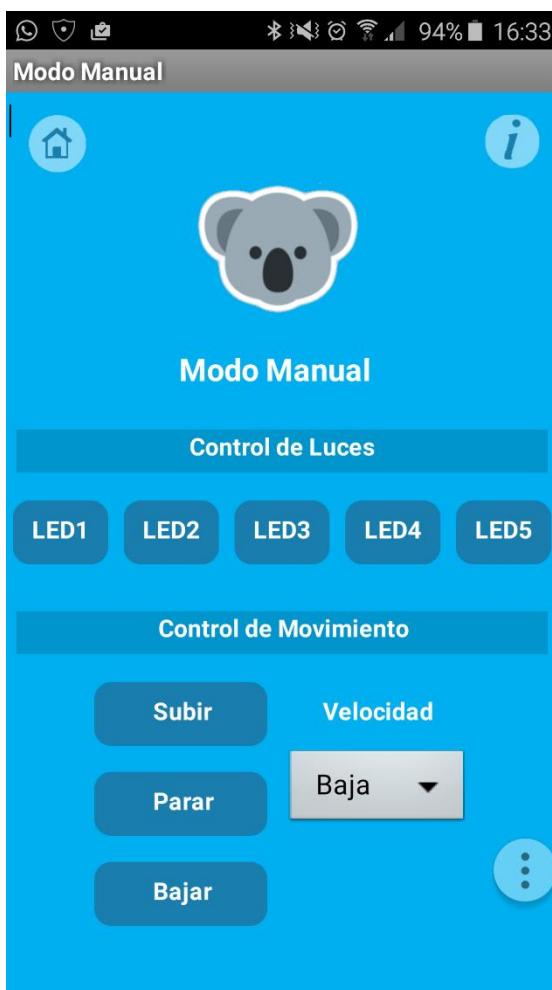


Figura 5.7. Interfaz gráfica del modo manual conectado

En la parte superior se visualiza un botón con forma de cabeza de Koala, el cual se encuentra dormido. Dicho botón sirve de manera paralela para conectar o desconectar el dispositivo móvil con el KoalaBot Mini y al mismo tiempo visualizar el estado actual de dicha conexión. Es decir, si el botón de conexión/desconexión tiene la forma de un koala dormido, significa que no ha sido establecida ninguna conexión bluetooth. Por otra parte, cuando el dispositivo se conecta con el prototipo, la apariencia del botón cambia a un koala con los ojos abiertos.

Debajo de la etiqueta “modo manual”, se pueden ver las funciones propias del control de las luces, donde existen 5 botones a través de los cuales el usuario puede controlar el apagado o encendido manual de cada pareja de LEDs del mismo color. Más abajo se puede observar las funciones de control de movimiento. Estas incluyen un botón para iniciar el ascenso (SUBIR) del KoalaBot, otro para el descenso (BAJAR) y otro para detener su funcionamiento (PARAR). Además, a la derecha hay un desplegable donde el usuario puede configurar la velocidad de funcionamiento del KoalaBot (BAJA, MEDIA, ALTA), como se observa en la figura 5.8.

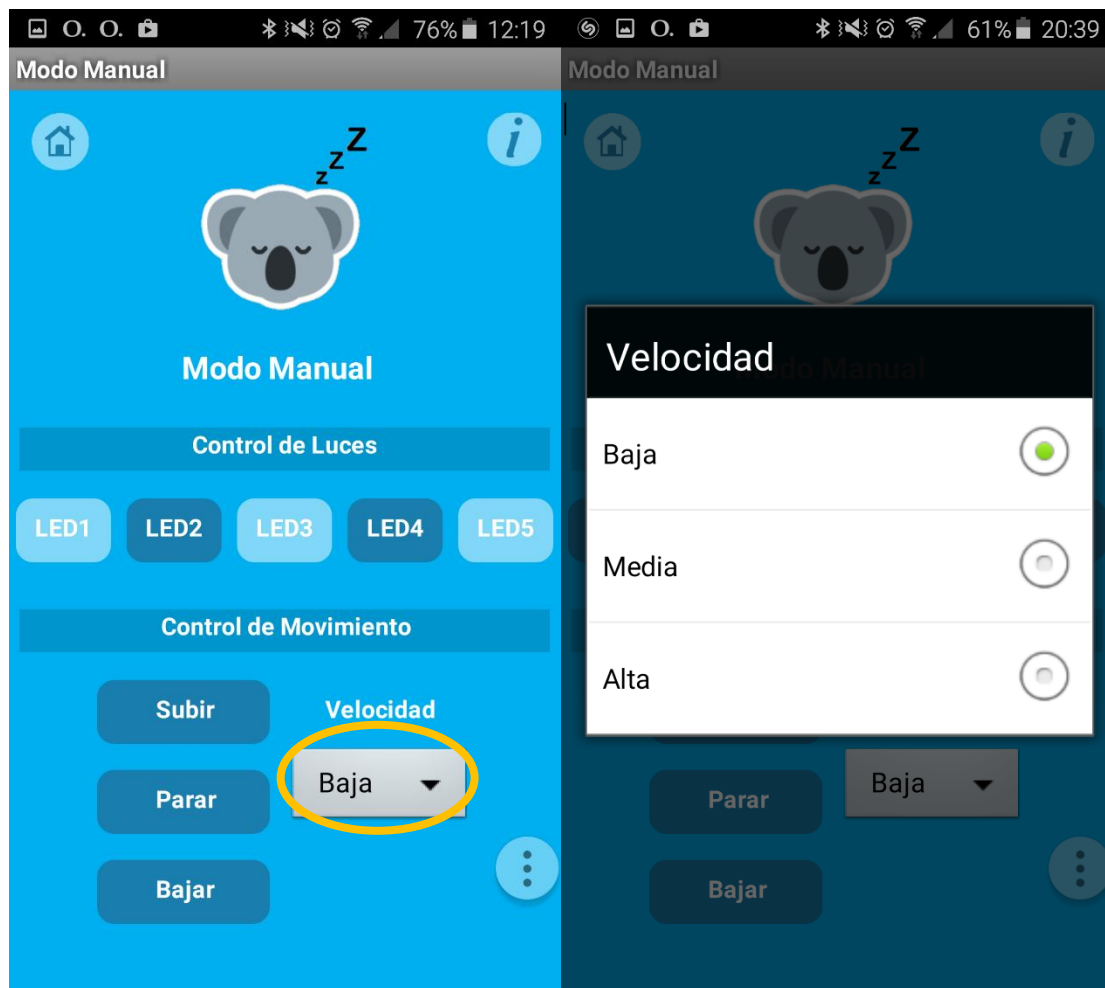


Figura 5.8. Velocidad de funcionamiento y sus opciones de configuración

Al igual que en la pantalla de selección de modo de funcionamiento, en esta pantalla también se puede apreciar la existencia de un botón de ayuda que asesora al usuario en caso de duda. Por último, la interfaz cuenta con un botón para Salir del modo manual, devolviendo al usuario a la pantalla anterior para que tenga la posibilidad de cambiar al modo automático o para salir de la app.

### Modo Automático

En la pantalla del Modo automático, el usuario se encuentra ante la siguiente interfaz gráfica (figura 5.9).



*Figura 5.9. Interfaz gráfica del modo automático conectado*

Al igual que en el modo manual, en la parte superior se visualiza una vez más el mismo botón con forma de cabeza de Koala, que por defecto tiene la apariencia de estar dormido al no haber establecida ninguna comunicación bluetooth. Cuando el botón sea presionado por el usuario y la comunicación tenga lugar, el botón del koala cambiara su apariencia de dormido a despierto.

Debajo de la etiqueta Modo Automático, se encuentran 5 botones relativos al control de las luces. En este modo, al contrario que en el manual, el usuario solo puede elegir una sola acción de forma simultánea. Cada uno de los 5 botones corresponde a una secuencia automatizada de encendido y apagado de todos los LEDs.

Más abajo se pueden observar los botones propios del control de movimiento. Existen un botón para el submodo tiempo y otro para el modo posición. Al seleccionar uno u otro, al usuario se le habilita la opción de elegir un tiempo o una distancia preprogramada respectivamente.

En la figura 5.10 se puede observar el submodo posición activado y las opciones de configuración disponibles para el usuario.

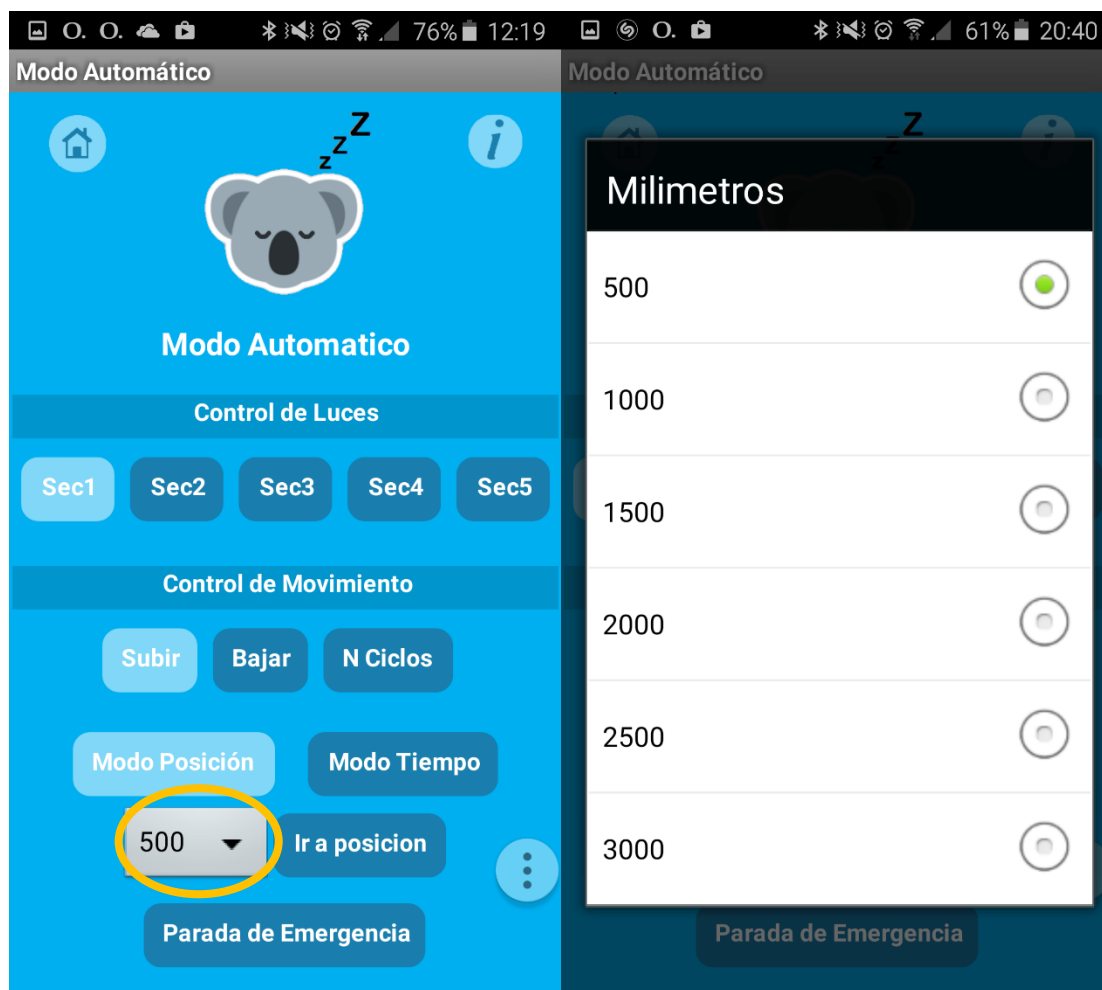


Figura 5.10. Modo automático de posición y sus opciones de configuración

En la figura 5.11 se puede observar el submodo tiempo activado y las opciones de configuración disponibles para el usuario.

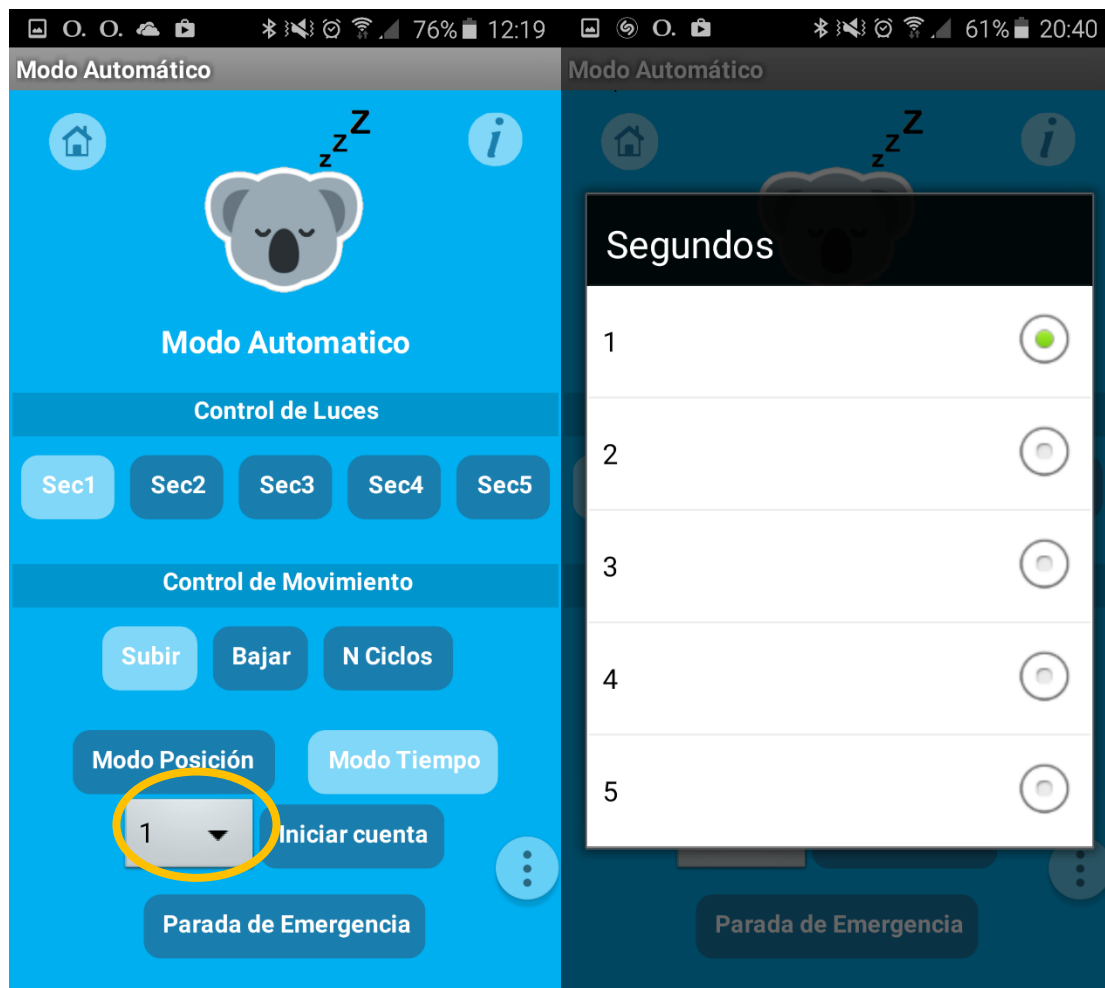


Figura 5.11. Modo automático de tiempo y sus opciones de configuración

Además, existen 3 botones para configurar si el koala debe ejecutar cualquiera de los dos submodos anteriores para ascender o descender una sola vez o de manera cíclica N veces. Cuando se selecciona esta ultima de opción, se habilita un cuadro para que el usuario seleccione el número de ciclos que quiere que se repita el modo automatizado (figura 5.12).

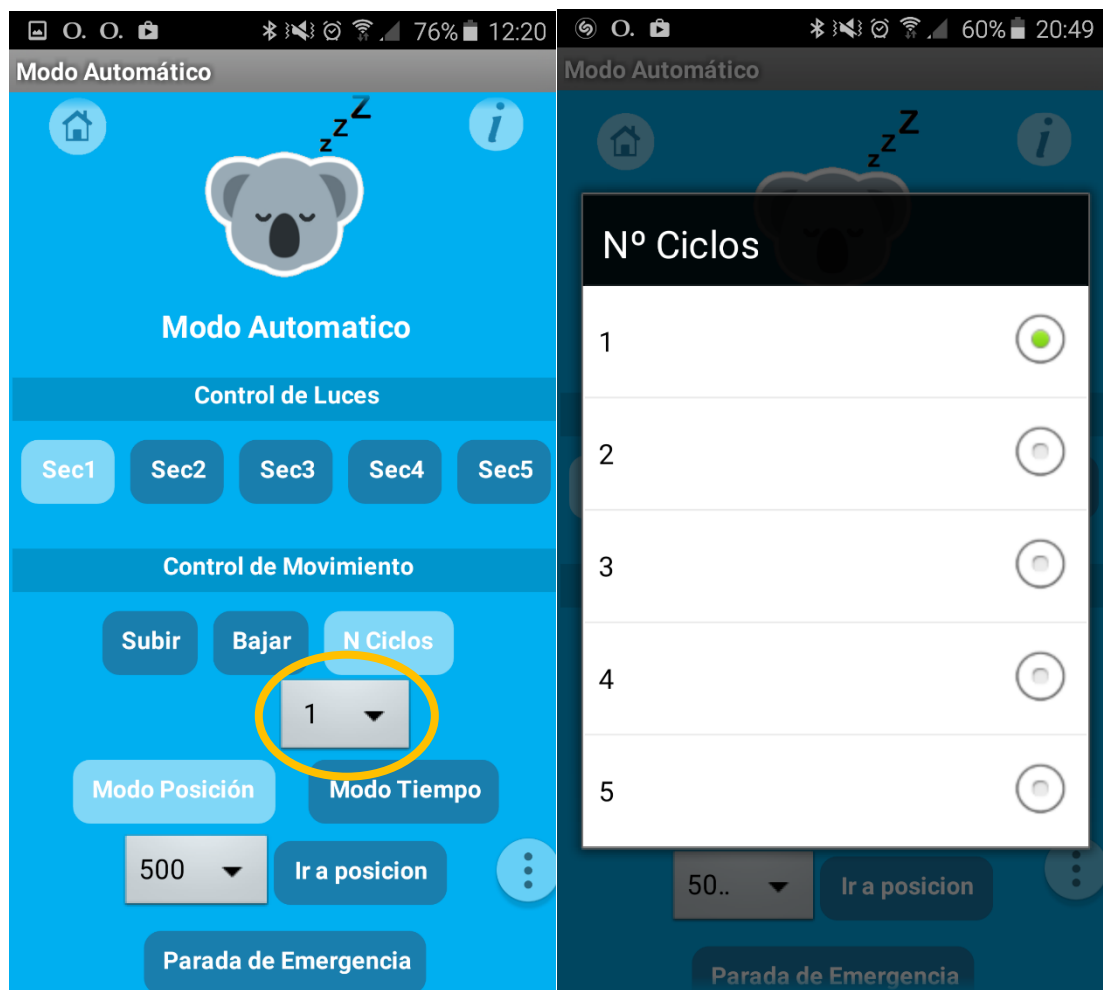


Figura 5.12. Modo automático cíclico y sus opciones de configuración

Esta pantalla también cuenta con un botón de parada de emergencia para detener el funcionamiento del KoalaBot durante el transcurso de cualquier submodo automático.

Por último, siguen estando presentes los mismos botones de ayuda para asesorar al usuario en caso de duda y de Salir del modo automático para devolver al usuario al menú principal con el fin de que pueda cambiar al modo manual o salir de la app.

## 6. IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DEL PROTOTIPO

Una vez finalizada la fase de diseño mecánico, electrónico, se procede a la posterior fabricación y montaje del prototipo físico del KoalaBot Mini. Dicha fase está diversificada en dos partes diferenciadas, fabricación y montaje mecánico y fabricación y montaje electrónico. Una vez concluidas, se procede a la integración global de todos los subsistemas ensamblados de forma parcial, incluyendo la implementación física del diseño del control (software) sobre el diseño electrónico (hardware).

### 6.1. Fabricación y montaje mecánico

En este apartado se recoge el listado de componentes empleados en el presente proyecto, incluyendo tanto materiales como elementos comerciales. También se explican los procesos de fabricación llevados a cabo para la fabricación de las piezas, así como el posterior proceso de montaje efectuado a nivel mecánico.

#### 6.1.1. Lista de materiales y componentes comerciales

En la tabla 6.1 se ofrece un listado de todos los componentes comerciales adquiridos para la implementación mecánica del prototipo KoalaBot Mini, detallando su descripción, fabricante y número de unidades.

Lista Componentes Comerciales Mecánicos			
ELEMENTO	DESCRIPCION	FABRICANTE	Nº UNIDADES
Bobina Impresora 3D	d=1,75mm; azul; PLA	FormFutura	1
Muelle Compresión	Aleación de Acero; 28.5mm x 9mm; 2.33N/mm	RS	10
Tornillo Regulador	DIN 933 M5x20	RS	6
Tuerca Regulador	DIN 933 M5	RS	6
Tornillo Bisagra	DIN 934 M3x45	RS	6
Tuerca Bisagra	DIN 934 M3	RS	6
Tornillo Separador	DIN 933 M3x20	RS	8
Tuerca Separador	DIN 933 M3	RS	8
MicroMetal GearMotor	150:1; 200rpm; 0.28Nm	Pololu	2
Rueda	d=32mm; b=7mm	Pololu	12
Acoplamiento	d=3mm	Pololu	1
Carcasa motor	ABS	Pololu	2
Polea	d=175mm; ABS	Leroy Merlin	2
Chapa aluminio	e=1,2mm	Leroy Merlin	1
Varilla acero	d=3mm; L=1m	Leroy Merlin	1
Tubo aluminio	d <sub>int</sub> =3mm	Leroy Merlin	1

Tabla 6.1. Lista de componentes comerciales mecánicos



### 6.1.2. Procesos de Fabricación

Los procesos de fabricación han sido escogidos por las propiedades mecánicas de los materiales y por la geometría de las piezas requerida. A continuación se describen las razones de elección de cada proceso y las piezas fabricadas con cada uno de ellos.

#### Impresión 3D

Un requisito principal es la ligereza del producto final, por eso se ha valorado positivamente la disponibilidad de utilizar impresión 3D como método de fabricación. Otro gran beneficio es la posibilidad de fabricar geometrías complejas, que con otros procesos serían inviables de fabricar. Esto ha facilitado notablemente el diseño de los componentes.

Debido a que las piezas son realizadas por capas, son anisótropas, no tienen las mismas propiedades en una dirección que en otra. Por esta razón, es importante la correcta orientación de las piezas al imprimir. Teniendo esto en cuenta, como se ha mencionado en la selección de materiales, las piezas no estarán solicitadas a estados de carga elevados ni tendrán espesores demasiado pequeños.



*Figura 6.1. Impresora HP Designjet 3D Printer.*

Para el primer prototipo se ha utilizado la HP Designjet 3D Printer (figura 6.1), perteneciente al Área de Mecánica de la universidad y facilitada por el tutor académico José Manuel Sierra. El material de aporte de la misma es ABS o Acrilonitrilo Butadieno Estireno, un termoplástico duro, resistente al calor y a los impactos. Las especificaciones técnicas de la impresora se recogen en la tabla 6.2.

Características HP Designjet 3D Printer	
Tamaño de bandeja máximo	203mmx152mmx152mm
Material modelo	ABS plástico, color marfil
Material soporte	Diluible
Precisión	0.254 mm

*Tabla 6.2. Especificaciones técnicas impresora HP.*

Las piezas fabricadas por esta impresora han sido las 3 piezas de cada mecanismo tensor y las bisagras. En las siguientes figuras (6.2 y 6.3) podemos ver las piezas con su material de soporte en el interior de la impresora y a continuación, después de retirar dicho material.

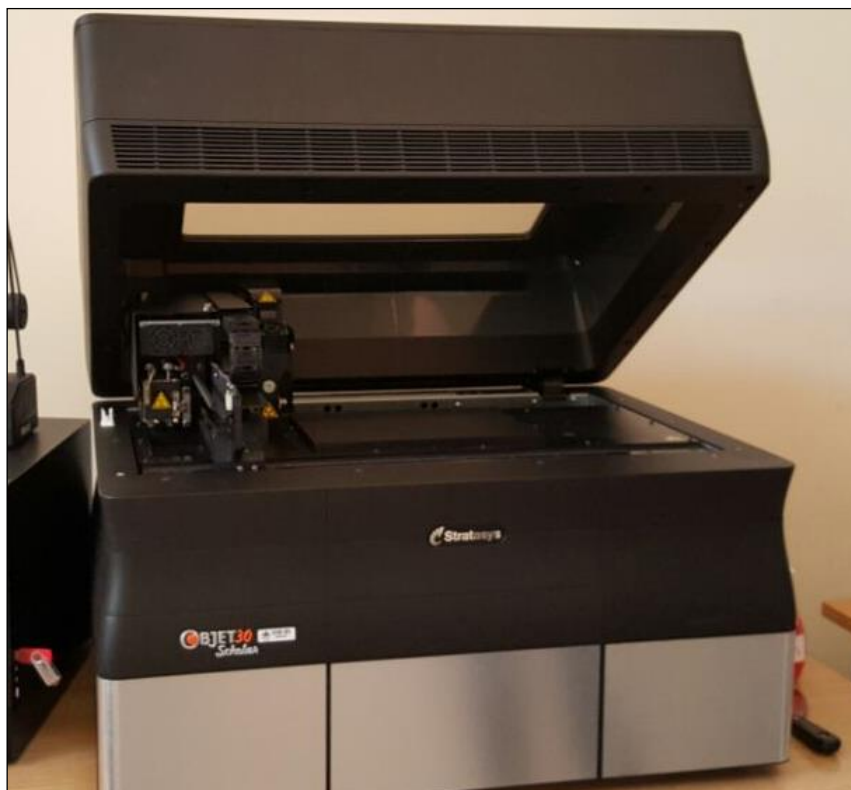


*Figura 6.2. Piezas del primer prototipo en la impresora.*



*Figura 6.3. Piezas del primer prototipo tras la retirada del material de soporte.*

En el segundo prototipo se ha utilizado la impresora Stratasys Objet30 Scholar (figura 6.4), perteneciente al Área de Fabricación de la universidad y facilitada por el profesor David Blanco. El empleo de esta impresora permitió conseguir unas propiedades más óptimas en los componentes fabricados. El material utilizado es una resina fotosensible denominada Vero White Plus. Es rígida, opaca, de color blanco y tiene un aspecto final similar al producto de plástico estándar.



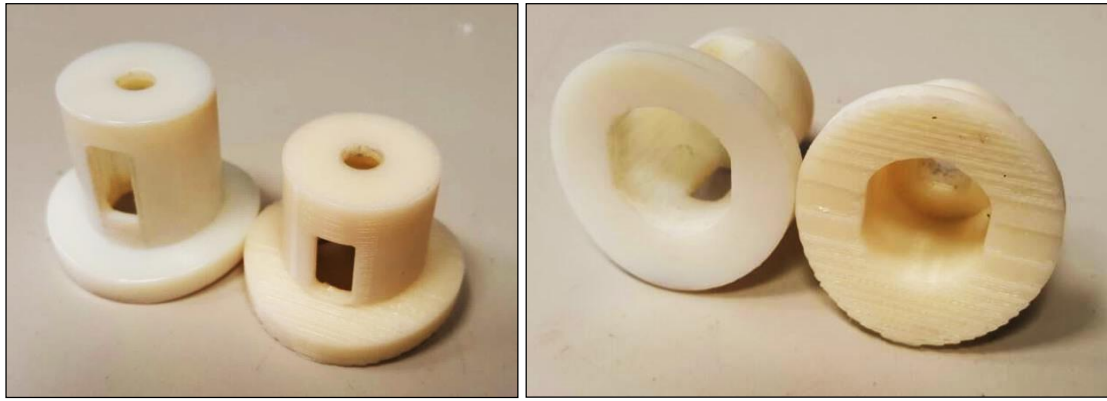
*Figura 6.4. Impresora Stratasys Objet30 Scholar.*

Las características de la impresora se recogen en la tabla 6.3. El fabricante especifica que la resolución de cada puede variar en función de la geometría de la pieza, el tamaño, la orientación, el material y el método de post-procesado.

Características Stratasys Objet30 Scholar	
Tamaño de bandeja máximo	294mmx192mmx148.6mm
Material modelo	Rígido, opaco y blanco, VeroWhitePlus
Material soporte	Fotopolímero no tóxico FullCure 705
Resolución de capa	0.028 mm

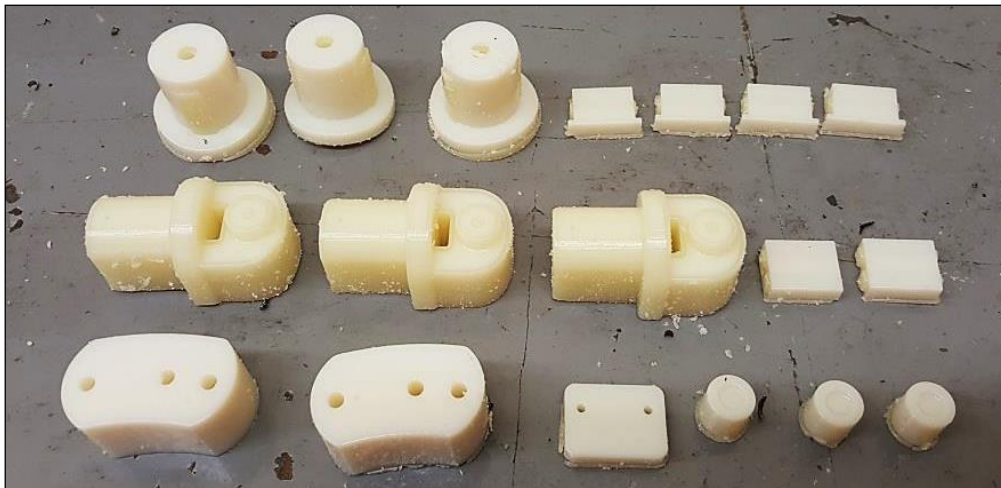
*Tabla 6.3. Especificaciones técnicas impresora Stratasys.*

La resolución de capa de la segunda impresora es notablemente menor y la mejora en el acabado de las piezas ha sido importante, como puede verse en la figura 6.5. En la pieza derecha en ambas imágenes pueden distinguirse las capas de fabricación.



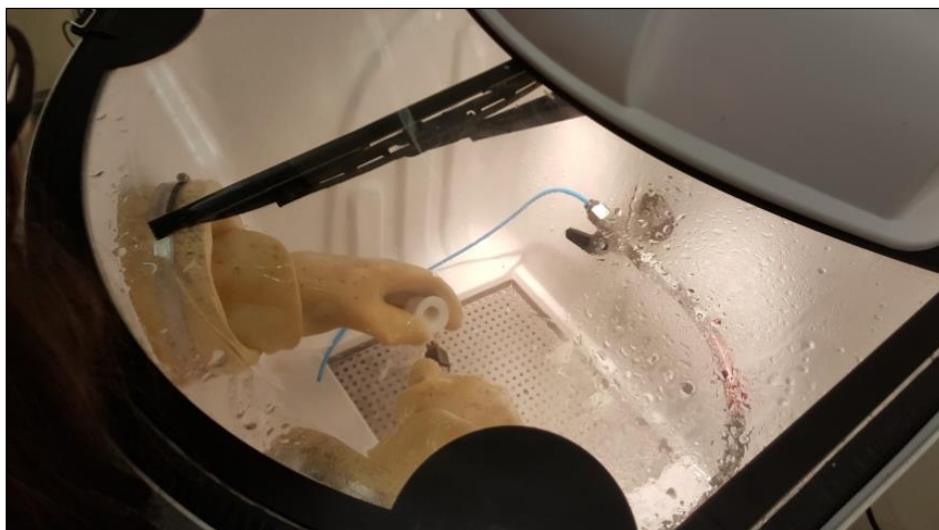
*Figura 6.5. Diferencia entre las piezas de las impresoras.*

Las piezas fabricadas esta vez han sido, las 3 piezas de cada mecanismo tensor, las bisagras, los separadores y la placa del motor. En la figura 6.6 podemos ver las piezas al salir de la impresora.



*Figura 6.6. Piezas impresas con material de soporte*

Para retirar el material de soporte se ha utilizado una cabina de agua a presión. A continuación se puede observar dicha cabina y las piezas tras su limpieza (figura 6.7 y 6.8).



*Figura 6.7. Limpieza de las piezas impresas*





*Figura 6.8. Acabado final de las piezas impresas*

Aunque la precisión de la segunda impresora es mayor, de 0.1 mm, no se pueden asegurar tolerancias dimensionales generales según ISO 2768, como mediante otros procesos. Por esto, para diseñar uniones de juego o apriete se ha procedido a establecer dimensiones mayores o menores que la nominal para conseguir el efecto deseado.

Por otra parte, para la fabricación de la carcasa también se empleó la fabricación aditiva. En este caso se empleó una tercera impresora 3D facilitada por el profesor Jorge Rocés, del área de Expresión Gráfica en la Ingeniería. Se trata de una impresora MakerBot x2 como la que se observa en la figura 6.9, que utiliza como tecnología de impresión filamento fundido.



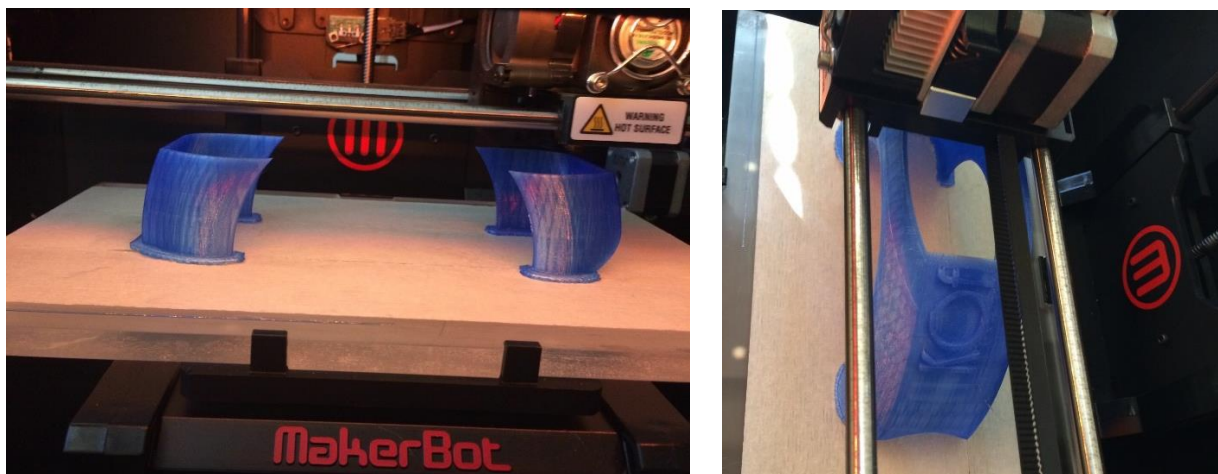
*Figura 6.9. Impresora 3D MakerBot x2*

Sus características técnicas principales se exponen en la tabla 6.4.

Características MakerBot 2x	
Volumen de impresión	246mmx163mmx155mm
Material modelo	ABS y PLA
Material soporte	Polímero
Precisión	0.1 mm

*Tabla 6.4. Especificaciones técnicas impresora MakerBot 2x*

Para la fabricación de la carcasa se empleó una bobina de hilo de PLA de color azul con efecto de fibra de vidrio. En la figura 6.10 se puede observar el proceso de impresión por capas de una de las partes de la carcasa del KoalaBot Mini.



*Figura 6.10. Fabricación aditiva de la carcasa del prototipo*

En este caso, las piezas que forman la carcasa del prototipo fueron impresas sin material de soporte, por lo que no fue necesario un proceso de limpieza para retirar el mismo. En la figura 6.11 se puede observar el resultado obtenido una vez finalizada la impresión 3D de la carcasa.



*Figura 6.11. Piezas de la carcasa del KoalaBot recién impresas*

### **6.1.1. Corte por láser**

Se trata de un proceso de corte térmico que se basa en la generación de una densidad de potencia altamente localizada que provoca la fundición o evaporación del material. Dicho proceso permite cortar perfiles de forma compleja, tiene una elevada precisión y un ancho de corte reducido y puede ser utilizado con una gran variedad de materiales.

Las piezas cortadas por láser han sido los puentes, a partir de chapa de aluminio de 1,2 mm de espesor y el soporte del motor, de chapa de acero de 2 mm. Dichas piezas como puede observarse en la figura 6.12 tienen una geometría compleja.



*Figura 6.12. Piezas cortadas por láser.*

### **6.1.2. Plegado**

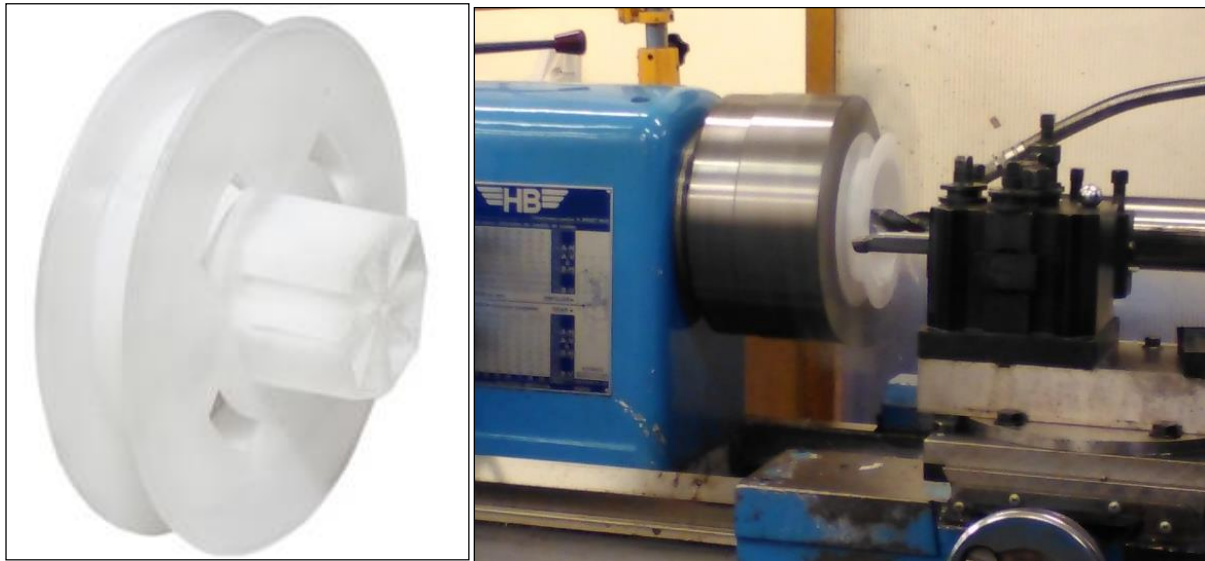
La pieza soporte del motor, ha sido cortada por láser y posteriormente plegada como podemos ver en la figura 6.10. Como se ha mencionado anteriormente, esta pieza se ha tenido que fabricar en acero ya que la chapa de aluminio de 1,2 mm era demasiado delgada para que el proceso de plegado no dañase sus propiedades.



*Figura 6.13. Plegado del soporte motor*

### 6.1.3. Torneado y serrado del chasis

Para el chasis del prototipo se ha partido de una polea para persiana de PVC de 175 mm de diámetro exterior y se ha torneado como puede verse en la figura 6.14.



*Figura 6.14. Torneado del chasis*

Posteriormente, se ha cortado la polea en dos partes, mediante una sierra de cinta (figura 6.15). El proceso se ha realizado con dos poleas, dejando en ellas un diámetro interior de 120 mm y de 100 mm para probar distintas configuraciones.



*Figura 6.15. Serrado del chasis*



#### 6.1.4. Lista de piezas

En este apartado se definen los subensamblajes que constituyen el prototipo del KoalaBot Mini. En la figura 6.16 se puede ver un esquema a modo de resumen.

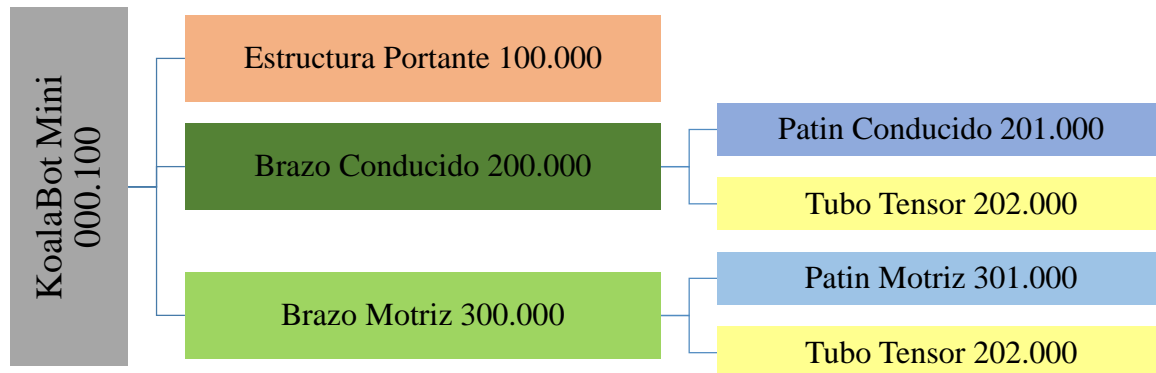


Figura 6.16. Estructura de los subensamblajes del prototipo

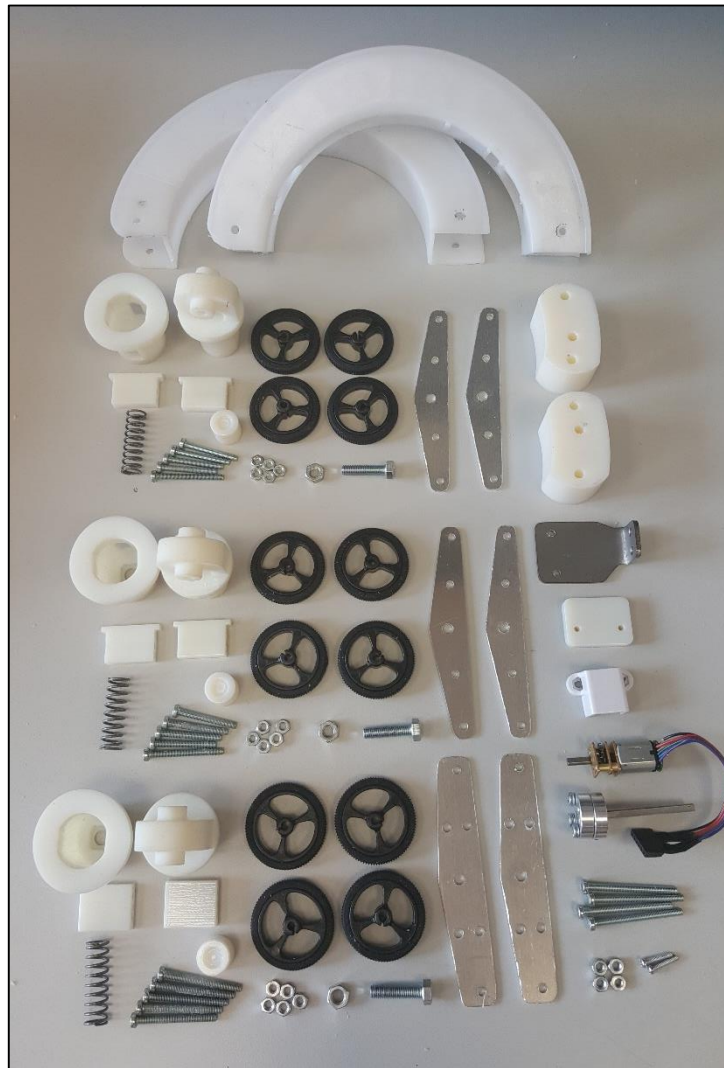
A continuación en la tabla 6.5 se ofrece un listado completo de los subensamblajes que constituyen el prototipo del KoalaBot Mini, así como el respectivo desglose de las piezas que lo componen.

Conjunto KoalaBot Mini					
Subconjunto				Pieza	
I		II			
Nombre	Cantidad	Nombre	Cantidad	Nombre	Cantidad
Estructura portante	1	-	-	Bisagra	2
				Chasis Izquierdo	1
				Chasis Derecho	1
				Tuerca (Bisagra)	6
				Tornillo (Bisagra)	6
Brazo Conducido	2			Eje patín	1
		Patín Conducido	1	Eje conducido	2
				Puente conducido	2
				Separador puente conducido	2
				Tornillo (Separador)	2
				Tuerca (Separador)	2
				Rueda	4
		Tubo tensor	1	Alojamiento tensor	1
				Tensor	1
				Tapón Muelle	1
				Tornillo Tensor	1
				Tuerca alojamiento	1

				Tornillo Tope	2
				Muelle Compresión	1
Brazo Motriz	1			Eje patín	1
		Patín Motriz	1	Soporte Motor	1
				Eje motriz	1
				Eje conducido	1
				Puente motriz	2
				Separador puente motriz	2
				Tornillo separador	4
				Tuerca separador	4
				Micro Metal GearMotor	1
				Placa motor	1
				Acoplamiento motor	2
				Carcasa Motor	1
				Tornillos (Funda motor)	2
				Tuercas (Funda motor)	2
				Rueda motriz	2
				Rueda conducida	2
		Tubo tensor	1	Alojamiento tensor	1
				Tensor	1
				Tapón Muelle	1
				Tornillo Tensor	1
				Tuerca alojamiento	1
				Tornillo Tope	2
				Muelle Compresión	1

Tabla 6.5. Listado de ensamblajes, subensamblajes y piezas del KoalaBot Mini

En la figura 6.17 se observa el conjunto de piezas necesarias para la implementación física del diseño mecánico del KoalaBot Mini.



*Figura 6.17. Despiece del KoalaBot Mini*

#### **6.1.5. Secuencia de montaje**

La etapa de diseño mecánico se abordó no solo teniendo en cuenta el posterior proceso de fabricación de las diferentes piezas que lo constituyen, sino también el proceso de montaje de todas ellas para completar la implementación física del prototipo. Para facilitar lo máximo posible esta etapa, se adoptó de forma previa una secuencia de montaje para el ensamblado del KoalaBot Mini, la cual se puede observar en las tablas 6.6 (montaje de piezas) y 6.7 (montaje de conjuntos). Para facilitar su interpretación, en el apartado Anexos IV - Secuencia de Montaje se adjunta el plan de montaje paso a paso de forma visual.

Montaje de piezas					
Conjunto	Subconjunto	Paso	Pieza 1	Pieza 2	Unión
Estructura Portante	-	1	Chasis Izdo	Bisagra (1)	Atornillado
		2	Chasis Dcho	Bisagra (1)	Atornillado
		3	Chasis Izdo	Bisagra (2)	Atornillado
		4	Chasis Dcho	Bisagra (2)	Atornillado
Brazo Motriz	Patín Motriz	1	Puente Motriz (1)	Separador Puente Motriz (1)	Atornillado
		2	Puente Motriz (1)	Separador Puente Motriz (2)	Atornillado
		3	Separador Puente Motriz (1)	Puente Motriz (2)	Atornillado
		4	Separador Puente Motriz (2)	Puente Motriz (2)	Atornillado
		5	Puente Motriz (1)	Eje conducido (1)	Ajuste (Apriete)
		6	Eje conducido (1)	Rueda Conducida (1)	Ajuste (Juego)
		7	Eje conducido (1)	Rueda Conducida (2)	Ajuste (Juego)
		8	Puente Motriz (2)	Eje conducido (1)	Ajuste (Apriete)
		9	Micro Metal GearMotor	Acoplamiento Motor	Tornillo prisionero
		10	Soporte Motor	Placa Motor	Atornillado
		11	Micro Metal GearMotor	Carcasa Motor	Ajuste
		12	Carcasa Motor	Placa Motor	Atornillado
		13	Soporte Motor	Puente Motriz (1)	Atornillado
		14	Eje Motriz	Puente Motriz (1)	Ajuste (Apriete)
		15	Rueda Motriz (1)	Eje Motriz	Ajuste (Apriete)
		16	Rueda Motriz (2)	Eje Motriz	Ajuste (Apriete)
		17	Eje Motriz	Puente Motriz (2)	Ajuste (Apriete)
		18	Eje Motriz	Acoplamiento Motor	Tornillo prisionero
	Tubo Tensor	1	Tapón Muelle	Muelle a Compresión	Ajuste (Juego)
		2	Tensor	Tapón Muelle	Ajuste (Juego)
		3	Alojamiento tensor	Tuerca Alojamiento	Atornillado
		4	Tensor	Alojamiento tensor	Ajuste (Juego)
		5	Tornillo tope	Tensor	Atornillado
Brazo Conducido	Patín Conducido	1	Puente Conducido (1)	Separador Puente Conducido (1)	Atornillado
		2	Puente Conducido (1)	Separador Puente Conducido (2)	Atornillado

		3	Separador Puente Conducido (1)	Puente Conducido (2)	Atornillado
		4	Separador Puente Conducido (2)	Puente Conducido (2)	Atornillado
		5	Puente Conducido (1)	Eje conducido (1)	Ajuste (Apriete)
		6	Eje conducido (1)	Rueda Conducida (1)	Ajuste (Juego)
		7	Eje conducido (1)	Rueda Conducida (2)	Ajuste (Juego)
		8	Puente Conducido (2)	Eje conducido (1)	Ajuste (Apriete)
		9	Puente Conducido (1)	Eje conducido (2)	Ajuste (Apriete)
		10	Eje conducido (2)	Rueda Conducida (3)	Ajuste (Juego)
		11	Eje conducido (2)	Rueda Conducida (4)	Ajuste (Juego)
		12	Puente Conducido (2)	Eje conducido (2)	Ajuste (Apriete)
	Tubo Tensor	1	Tapón Muelle	Muelle a Compresión	Ajuste (Juego)
		2	Tensor	Tapón Muelle	Ajuste (Juego)
		3	Alojamiento tensor	Tuerca Alojamiento	Atornillado
		4	Tensor	Alojamiento tensor	Ajuste (Juego)
		5	Tornillo tope	Tensor	Atornillado

Tabla 6.6. Secuencia de montaje de las piezas del KoalaBot Mini

Montaje de conjuntos					
Conjunto	Subconjunto	Paso	Pieza 1	Pieza 2	Unión
Brazo Motriz	Tubo Tensor - Patín Motriz	1	Eje Patín	Puente Motriz (1)	Ajuste (Juego)
		2	Tensor	Eje Patín	Ajuste (Apriete)
		3	Eje Patín	Puente Motriz (2)	Ajuste (Juego)
Brazo Conducido	Tubo Tensor - Patín Conducido	1	Eje Patín	Puente Conducido (1)	Ajuste (Juego)
		2	Tensor	Eje Patín	Ajuste (Apriete)
		3	Eje Patín	Puente Conducido (2)	Ajuste (Juego)
Brazo Conducido (1) - Estructura Portante		1	Alojamiento Tensor (1)	Chasis Dcho	Ajuste (Apriete)
Brazo Conducido (2) - Estructura Portante		1	Alojamiento Tensor (2)	Chasis Dcho	Ajuste (Apriete)
Brazo Motriz - Estructura Portante		1	Alojamiento Tensor	Chasis Izdo	Ajuste (Apriete)
Carcasa - Estructura Portante		1	Carcasa Dcha	Chasis Dcho	Ajuste y atornillado
		2	Carcasa Izda	Chasis Izdo	Ajuste y atornillado

Tabla 6.7. Secuencia de montaje de los subconjuntos del KoalaBot Mini

Una vez fabricadas las piezas, en las siguientes figuras se muestran las diferentes etapas llevadas a cabo del proceso de montaje real del prototipo.



Figura 6.18. Montaje Muelle - Tapón Muelle

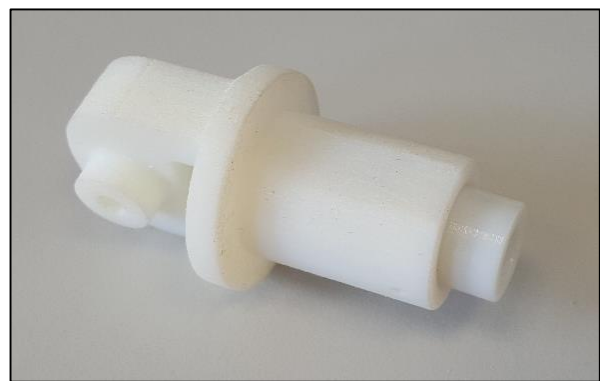
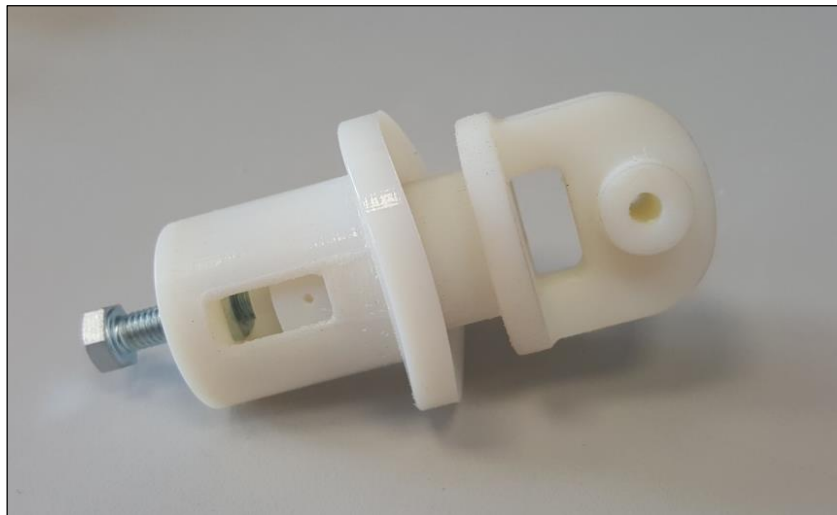


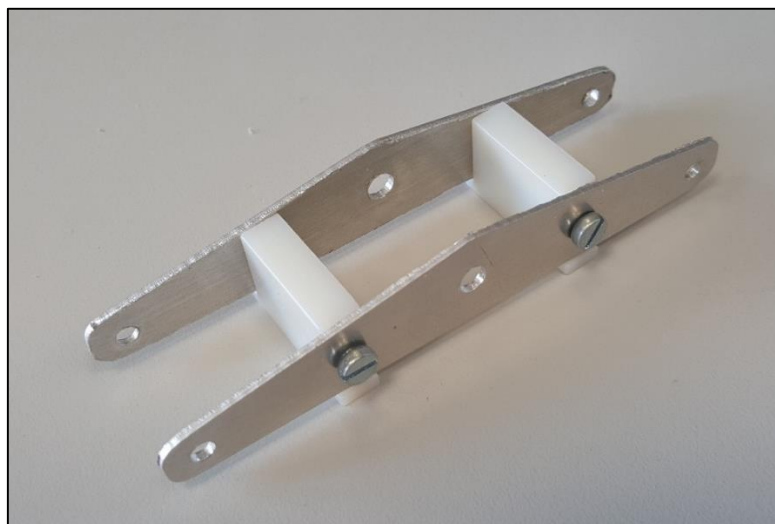
Figura 6.19. Montaje Tapón Muelle - Tensor



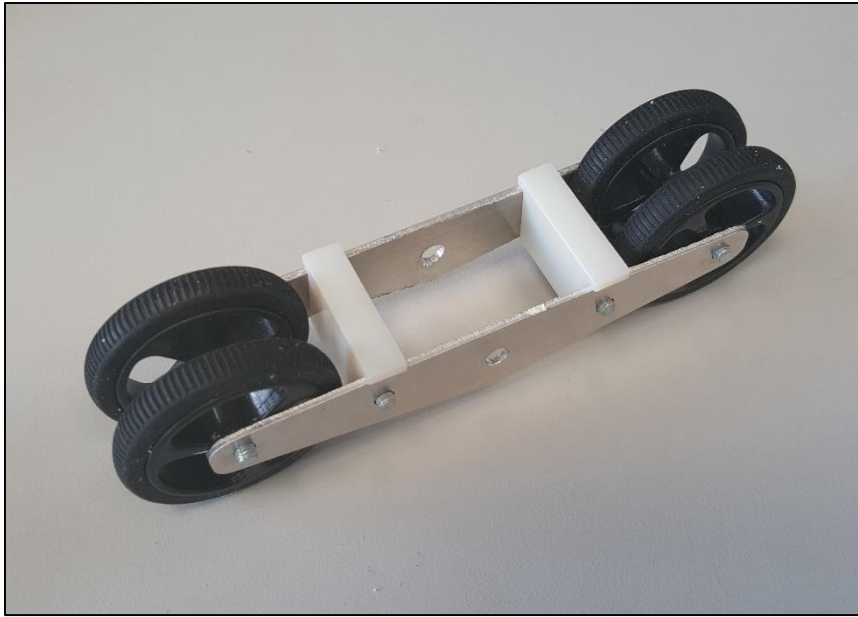
*Figura 6.20. Montaje Alojamiento Tensor – Tornillo Tensor*



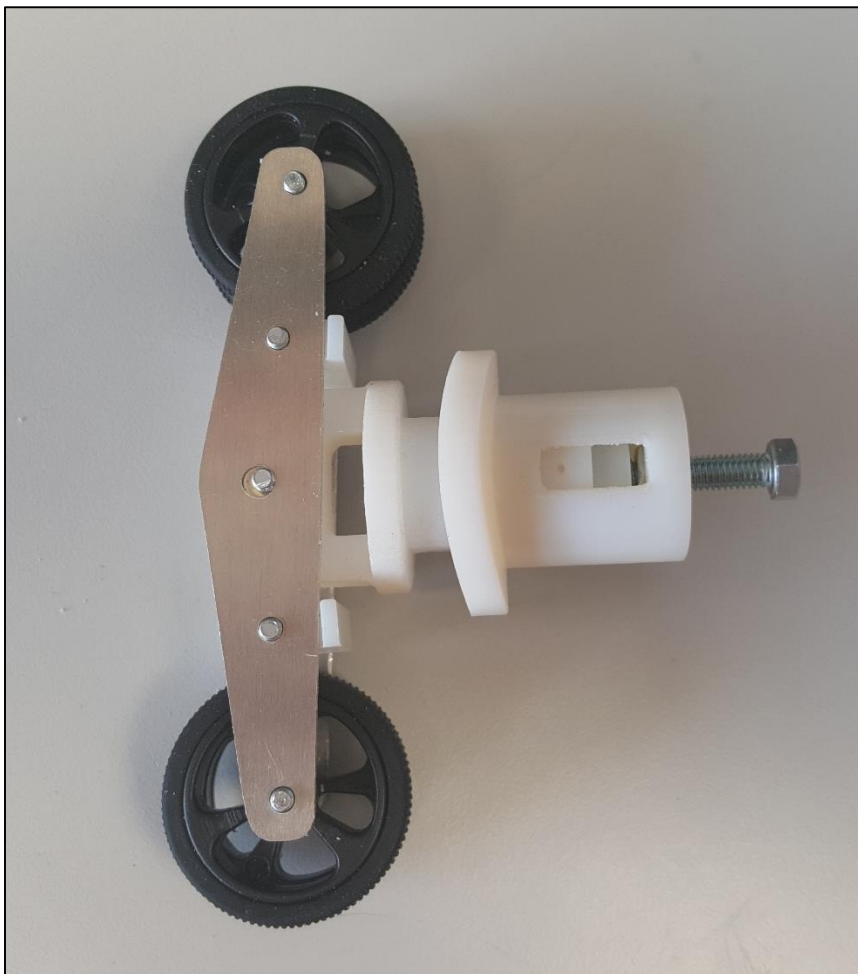
*Figura 6.21. Montaje Alojamiento Tensor - Tensor*



*Figura 6.22. Montaje Separadores – Puente Conducido*



*Figura 6.23. Montaje Ruedas – Puente Conducido*



*Figura 6.24. Montaje Tensor – Puente Conducido*





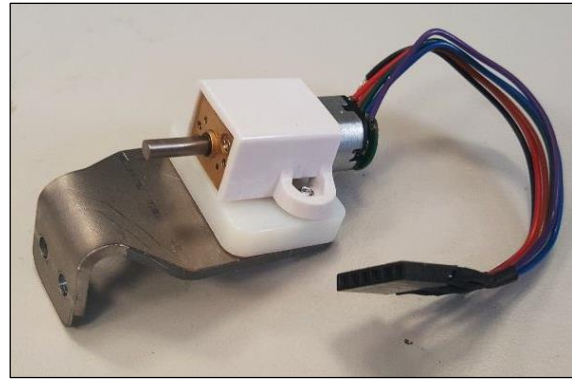
*Figura 6.25. Montaje Bisagras – Chasis Izdo*



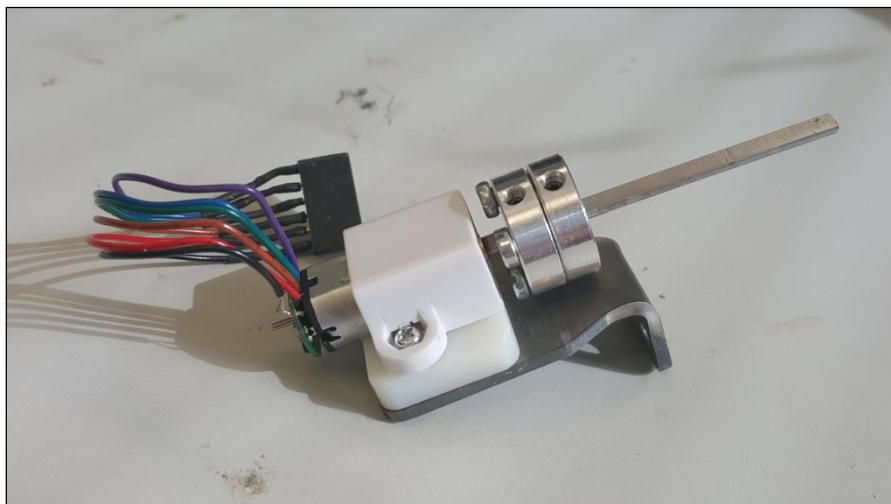
*Figura 6.26. Montaje Bisagras – Chasis Dcho*



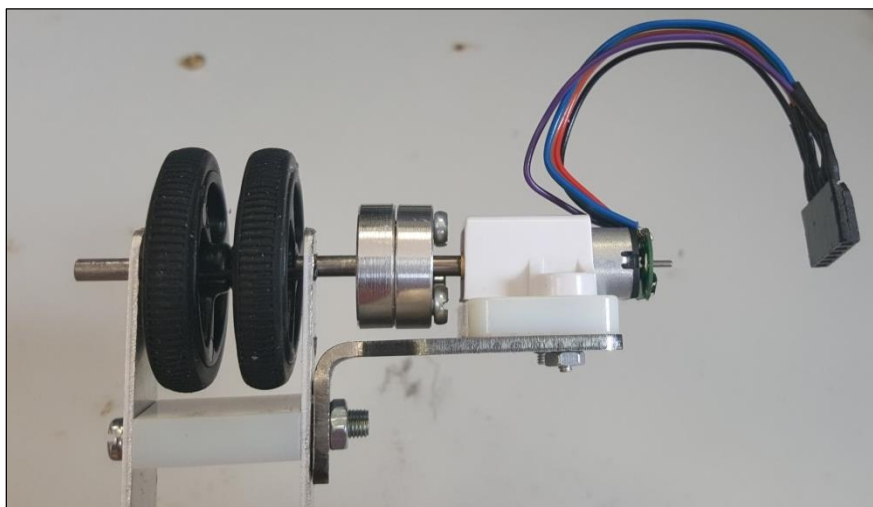
*Figura 6.27. Montaje Soporte Motor – Placa Motor*



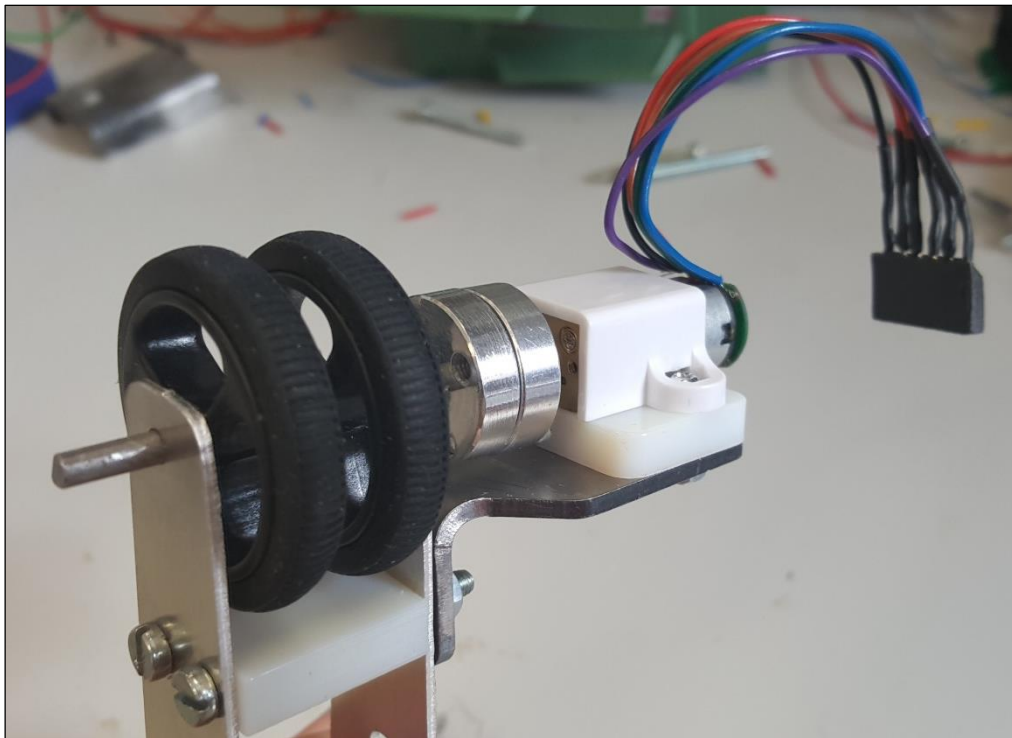
*Figura 6.28. Montaje Placa Motor – Carcasa Motor*



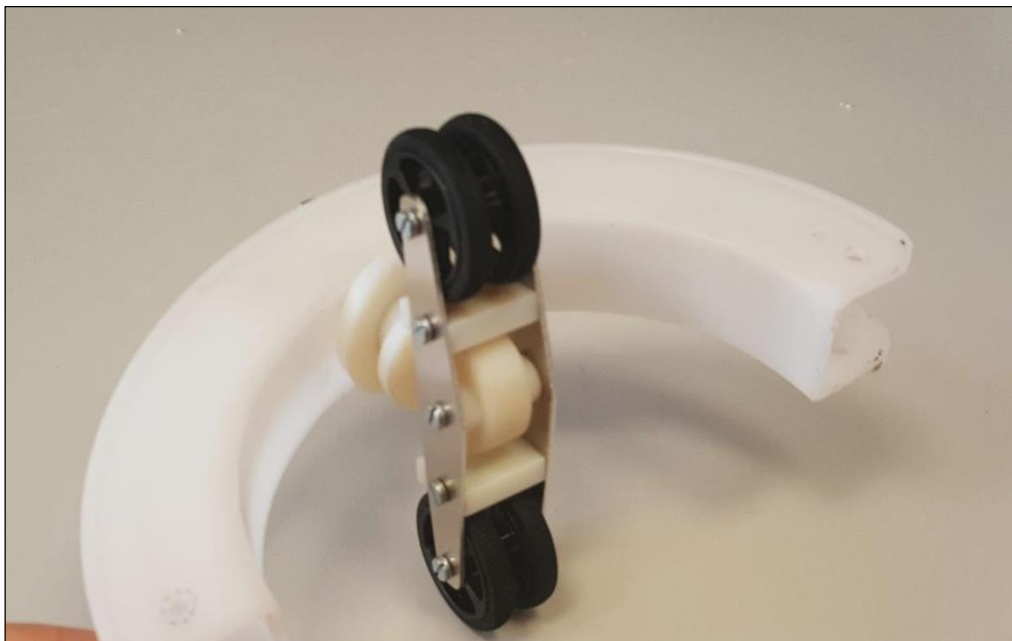
*Figura 6.29. Montaje Eje Motriz – Acoplamiento Motor*



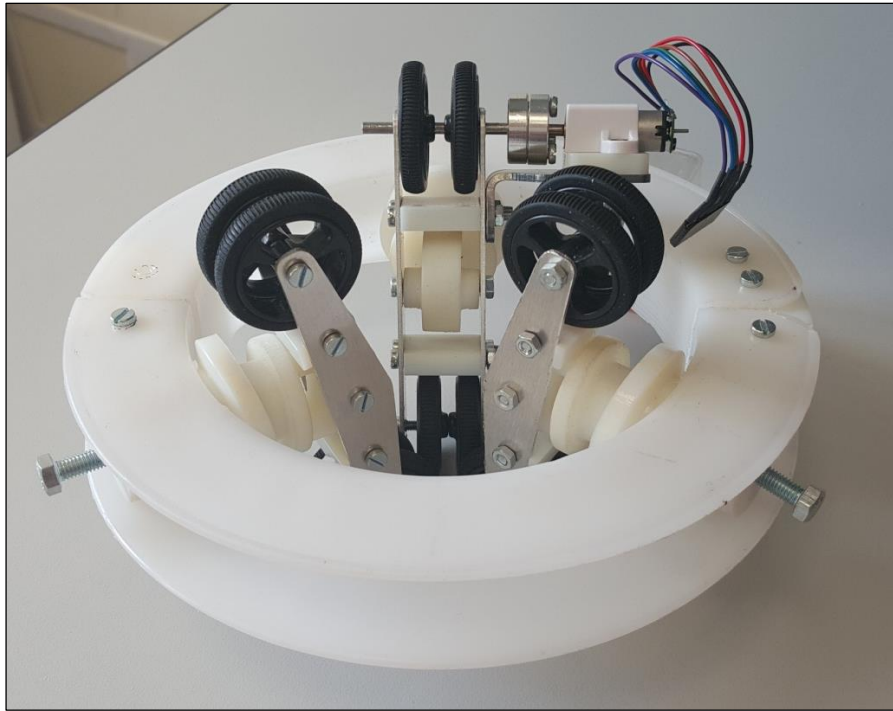
*Figura 6.30. Montaje Eje Motriz – Ruedas Motrices (1)*



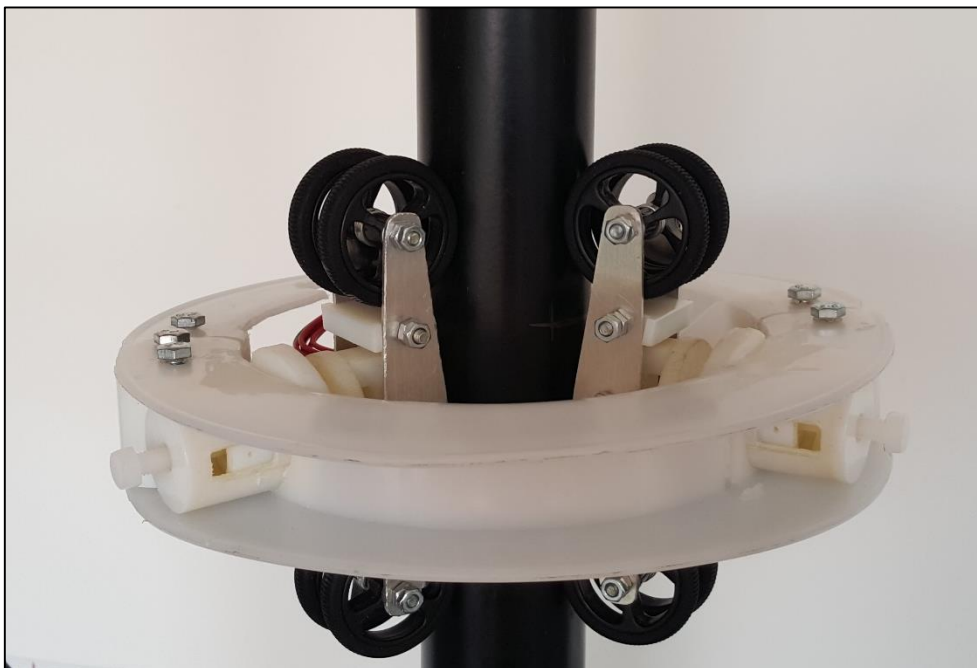
*Figura 6.31. Montaje Eje Motriz – Ruedas Motrices (2)*



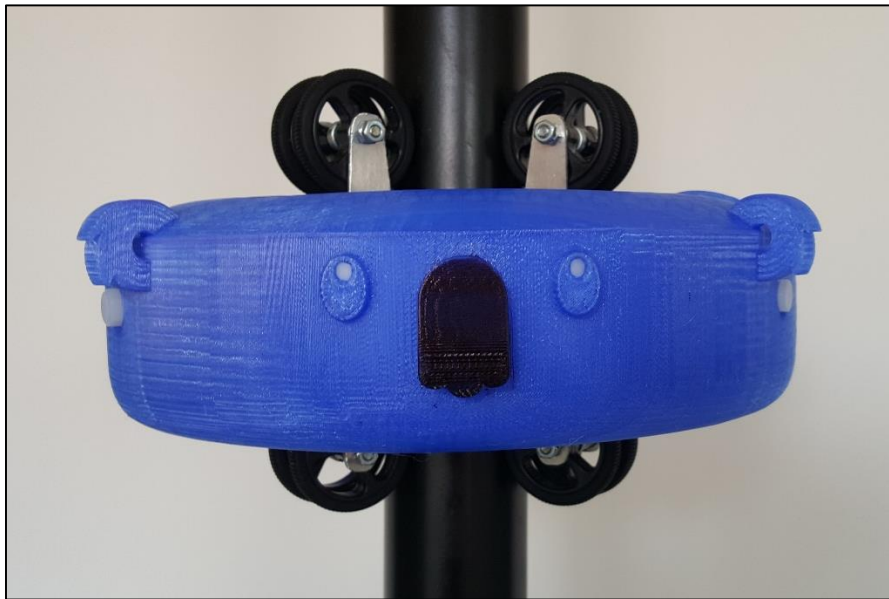
*Figura 6.32. Montaje Chasis – Brazo Conducido*



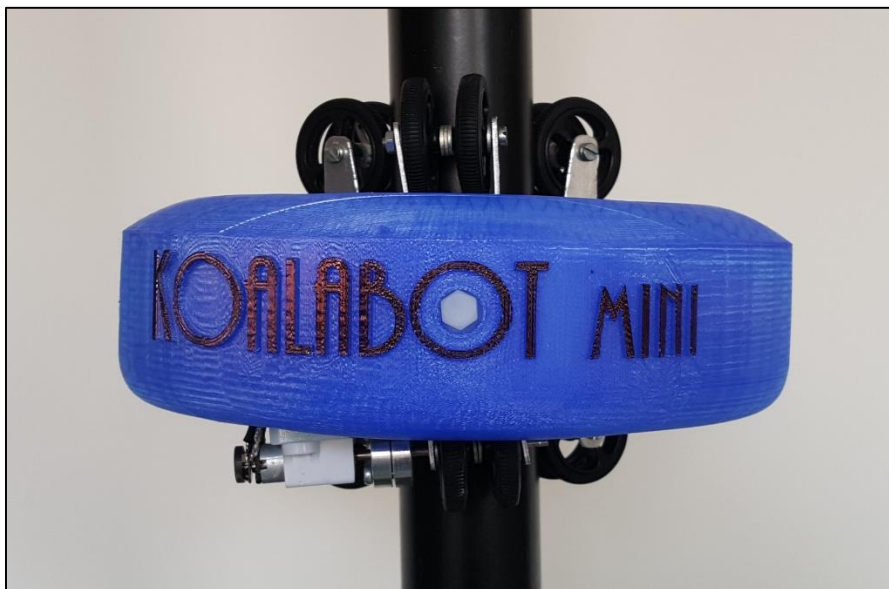
*Figura 6.33. Montaje Chasis – Brazos Conducidos – Brazo Motriz*



*Figura 6.34. Montaje del prototipo en un poste de Ø40mm*



*Figura 6.35. Montaje de la primera parte de la carcasa del KoalaBot Mini*



*Figura 6.36. Montaje de la segunda parte de la carcasa del KoalaBot Mini*

## **6.2. Fabricación y montaje electrónico**

La fabricación y montaje del sistema electrónico constituye la elaboración de las dos tarjetas de circuito impreso diseñadas en el capítulo Diseño Electrónico, así como su posterior ensamblaje para que ambas desarrollen sus funcionalidades de manera coordinada y conjunta.

### **6.2.1. Lista de componentes comerciales**

A continuación se muestra la lista de componentes electrónicos necesarios para la implementación física del diseño de las dos placas de circuito impreso (tabla 6.8).



Lista de Componentes Comerciales Electrónicos			
Elemento	Descripción	Fabricante	Cantidad
Placa PCB	Doble cara	CIF	2
Batería Recargable	LiPo 7.4V 500mAh	Turnity	1
Modulo Bluetooth	HC-06	Arduino	1
Regulador de tensión	$V_{salida} = 5V$	Fairchild	1
Zócalos	Pines torneados	Electroson	1
Tiras de pines	Macho	Electroson	1
Tiras de pines	Hembra	Electroson	1
Resistencia	$15\Omega$ ; Pot=1/2W	Electroson	1
Resistencia	$10K\Omega$ ; Pot=1/2W	Electroson	7
Resistencia	$1K\Omega$ ; Pot=1/2W	Electroson	3
Diodo LED	Colores varios	Electroson	10
Diodo Zener	3.3V	Fairchild	1
Diodo Rectificador	MUR160 Fast Recovery ns<60ms	Farnell	4
Pulsador	2 pines; NA	Electroson	1
Oscilador externo	Cristal de cuarzo 4MHz	Hosonic	1
Condensador	Cerámico 100nF	Electroson	7
Condensador	Cerámico 330 nF	Electroson	1
Transistor	NPN Bipolar BC547	Fairchild	6
Rollo de estaño	2x1,5mm	Electroson	1
Rollo de cables	2x1,5mm	Electroson	1

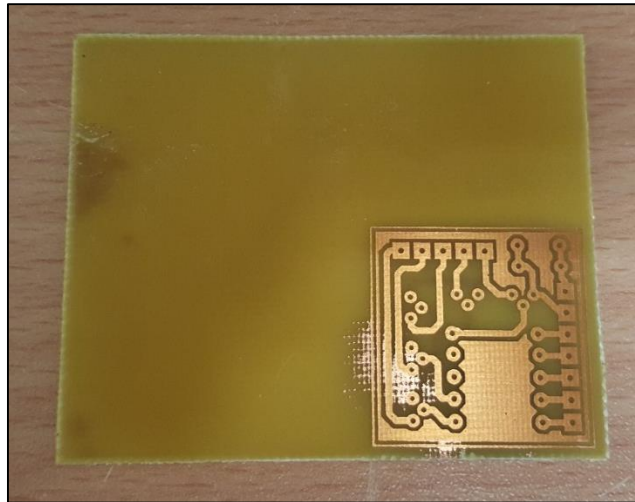
Tabla 6.8. Lista de componentes comerciales electrónicos

### 6.2.2. Elaboración de las PCBs

De manera previa se decidió imprimir en papel el circuito electrónico de la PCB a escala 1:1 para asegurar que todos y cada uno de los componentes electrónicos de la placa encajaban perfectamente en el diseño elaborado. De esta manera, nos aseguramos de que no haya ningún conflicto en la colocación y/o distribución de los componentes que obligue a rediseñar y repetir la fabricación de la placa una vez impresa.

Para abordar la fabricación de las PCBs se parte de una placa de fibra recubierta por ambas caras por una capa de cobre con un espesor de 35  $\mu\text{m}$ . El primer paso consistió en imprimir en papel transparente el diseño de la cara superior (TOP) y de la cara posterior (BOTTOM) de forma independiente. Con los dos fotolitos obtenidos (véase el capítulo “Planos”) se procede al insolado de la placa, que consiste en someterla a luz ultravioleta durante un tiempo determinado. A continuación se pasa a la fase de revelado de la misma. Para ello se ataca químicamente el cobre de la placa con ácido, de manera que desaparece todo el cobre en la PCB excepto el presente en las pistas para obtener el circuito impreso deseado.

El resultado de esta fase es la obtención de las dos placas de circuito impreso diseñadas. En las figuras 6.37 y 6.38 se observa a modo de ejemplo la PCB de ampliación recién fabricada, así como el posterior serrado del material sobrante.

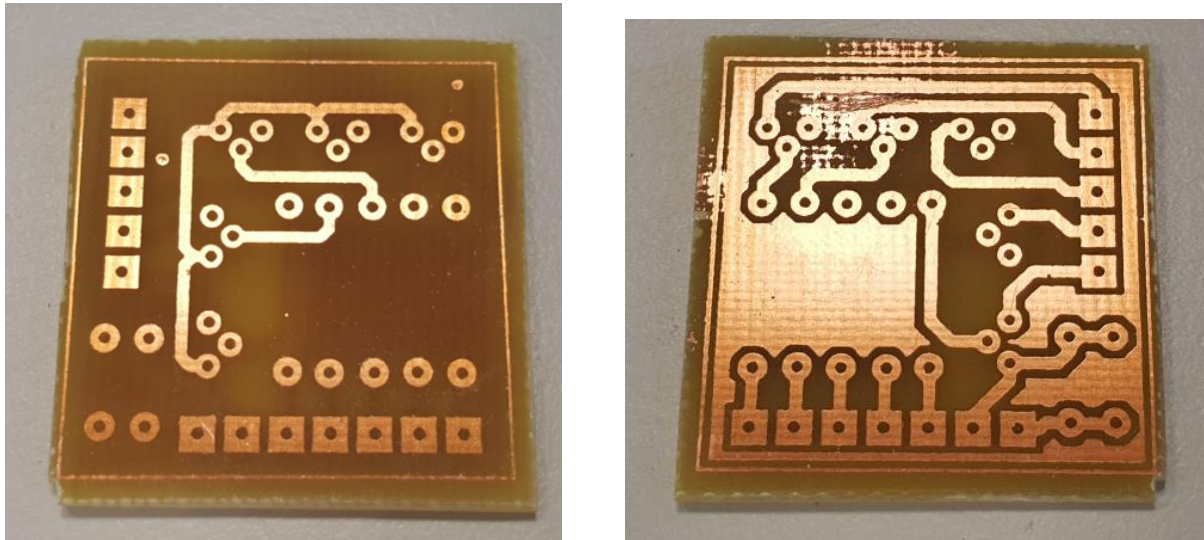


*Figura 6.37. PCB del circuito de ampliación*



*Figura 6.38. Serrado de la placa de ampliación*

Una vez completado el grabado del circuito diseñado sobre la PCB y antes de continuar con el montaje de la placa, es necesario limpiar la tarjeta con alcohol para deshacer la capa de barniz que sigue protegiendo la tarjeta electrónica por ambas caras (figura 6.39).



*Figura 6.39. Top y Bottom de la placa de ampliación*

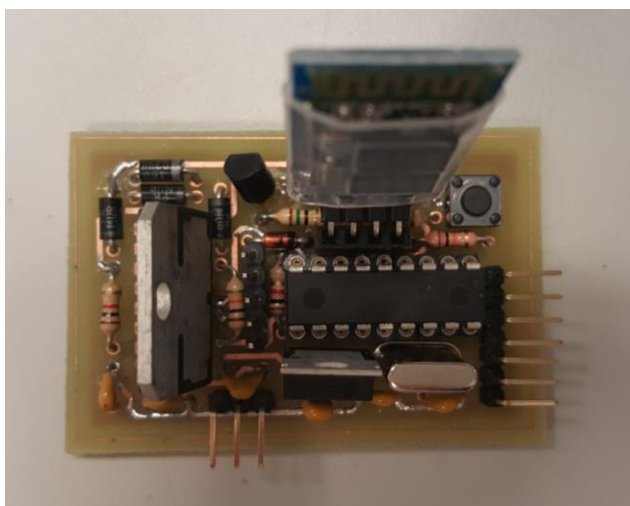
Por último se procede a realizar los taladros pertinentes con el fin de dejar la placa lista para la posterior fase de montaje de los componentes electrónicos.

### **6.2.3. Ensamblaje de las PCBs**

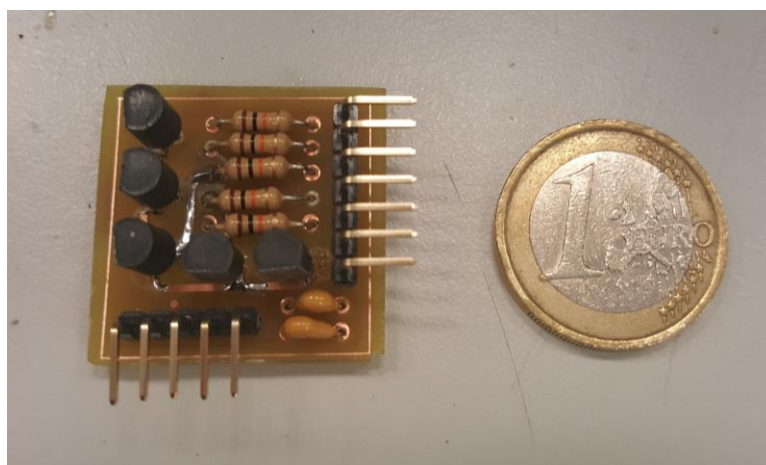
El montaje electrónico abarca la inserción de los componentes electrónicos en las dos placas recién taladradas y su unión permanente mediante soldadura con estaño. En el caso de la placa principal, el montaje incluye además la realización de vías, fase que debe ejecutarse antes del soldado de los componentes. Para hacer una vía se introduce un cable conductor a través de un agujero de la placa y se suelda por ambas caras con el fin de unir dos pistas que discurren por las dos caras opuestas de la misma placa.

A continuación, se procede a la colocación manual de los componentes electrónicos. Lo más recomendable es empezar insertando los elementos de difícil acceso por la propia distribución de la placa y por los elementos de menor tamaño, como las resistencias, e ir ascendiendo hasta colocar los componentes más aparatosos. Se decidió soldar zócalos a la placa para la colocación del microcontrolador y del puente en H integrado. De esta manera se evita soldar estos componentes de manera directa a la placa y así facilitar su retirada o sustitución de la placa en caso de fallo. Cada componente se debe soldar por la cara BOTTOM, sin olvidar las soldaduras de la cara TOP de aquellos componentes que reciben pistas por la parte superior. Con estas últimas se debe tener extremo cuidado para no dañar los propios componentes que se encuentran situados sobre dicha cara de la placa. La PCB de la placa principal finalmente montada y la PCB de la placa de ampliación se muestran de manera individual y conjunta en las figuras 6.40, 6.41 y 6.42.

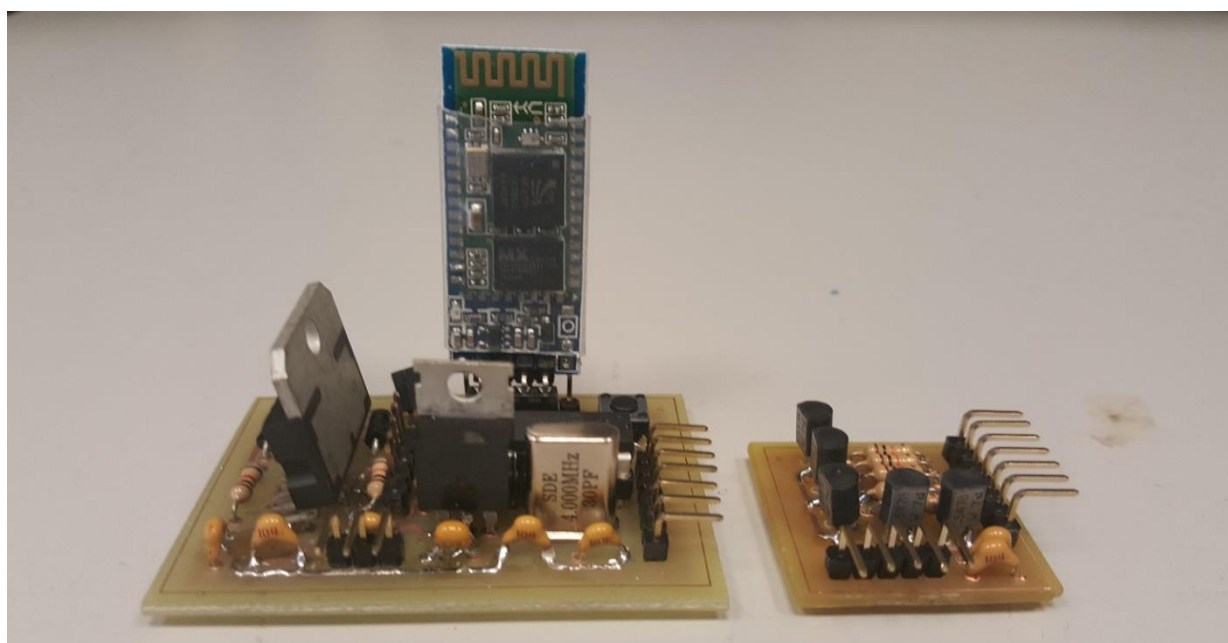




*Figura 6.40. Montaje de la placa principal*



*Figura 6.41. Montaje de la placa de ampliación*



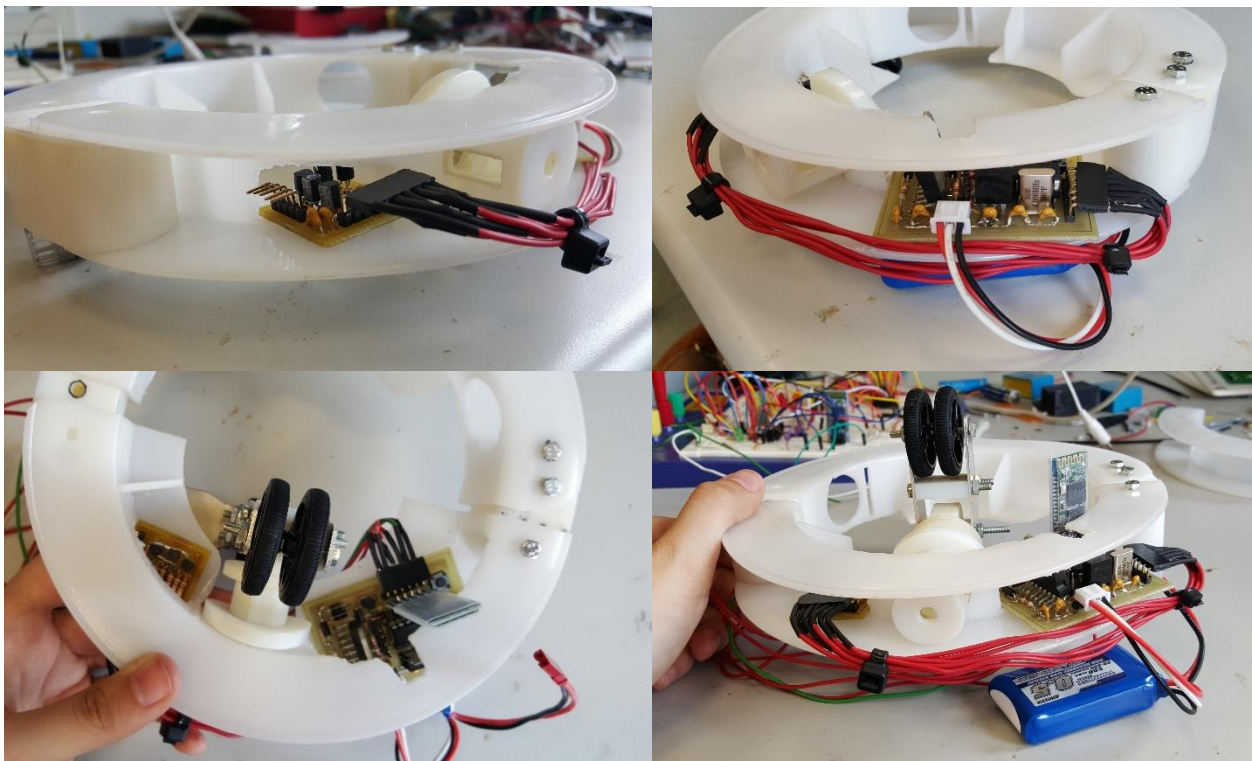
*Figura 6.42. PCB principal y PCB de ampliación montadas*

### **6.3. Integración global del sistema mecatrónico**

Una vez fabricado y montado cada subconjunto por separado, se procede a su implementación global del prototipo mecatrónico.

#### **6.3.1. Mecánica-Electrónica**

Tanto la placa principal como la placa de ampliación, fabricadas y montadas durante la fase anterior, se ensamblan en el diseño mecánico del KoalaBot Mini, concretamente a bordo de la estructura portante (figura 6.43). El mismo procedimiento se ha seguido para integrar la batería al prototipo. Se emplearon cables para conectar las dos PCBs entre sí, así como las mismas con la batería, el motor y los LEDs incorporados en la carcasa exterior del KoalaBot Mini.



*Figura 6.43. Implementación electrónica-mecánica*

#### **6.3.2. Electrónica-Control**

Dicha fase incluye la implementación del código de programación en lenguaje C en el PIC de la tarjeta electrónica de circuito impreso y la implementación de la aplicación móvil en el Smartphone destinado a controlar el KoalaBot Mini.

##### **Implementación Código C – Microcontrolador**

El diseño del control del programa C (software) se integra sobre el diseño ya implementado físicamente de la parte electrónica (hardware) mediante una tarjeta Pickit3 de la empresa Microchip, que comunica la tarjeta de circuito impreso con el ordenador a través de un puerto USB. Se trata de un programador y depurador del fabricante MICROCHIP, que simplifica y agiliza el proceso de grabación del código en el microcontrolador (Figura 6.44).



Figura 6.44. Tarjeta Pickit3 de la empresa Microchip

Para ejecutar dicha integración se empleó el entorno de trabajo MPLAB IDE v8.60, también de la empresa Microchip. Dicho programa permite depurar, simular, construir y finalmente programar el microcontrolador montado físicamente en la PCB para que este ejecute las funcionalidades diseñadas en el código de control. Dicho entorno desarrollo del fabricante MICROCHIP es ideal para trabajar con los microcontroladores de la misma marca (figura 6.45), ya que ofrece herramientas de gran utilidad a la hora de programar y depurar códigos para microcontroladores.

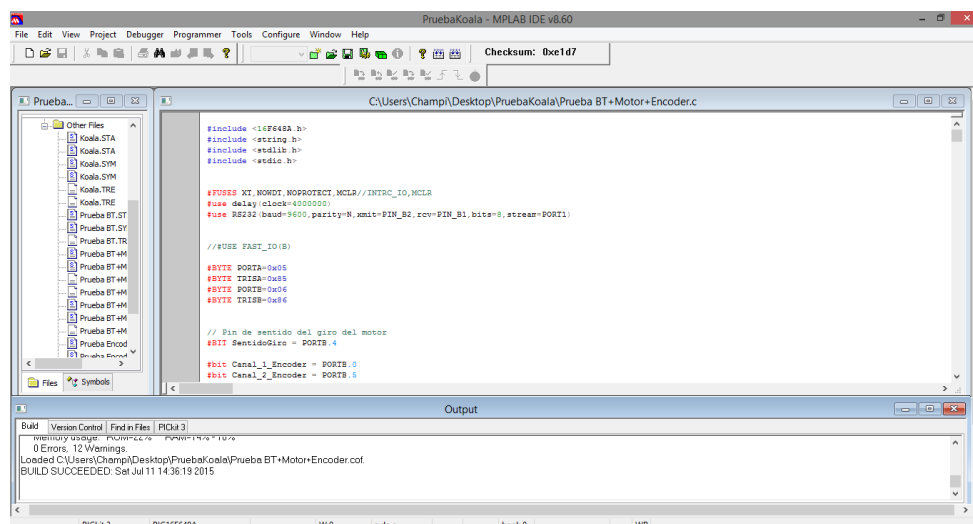


Figura 6.45. Interfaz del software MPLAB v8.60

El procedimiento completo de la fase de integración del código de programación C en el microcontrolador llevada a cabo se observa en la figura 6.46.

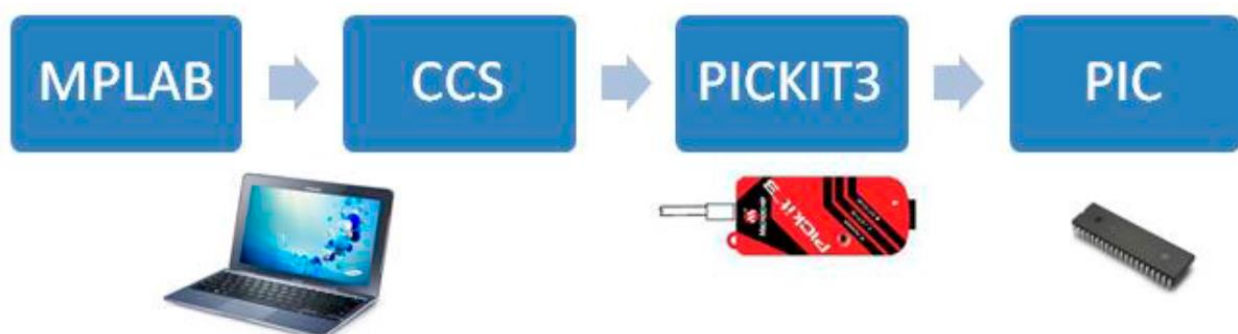
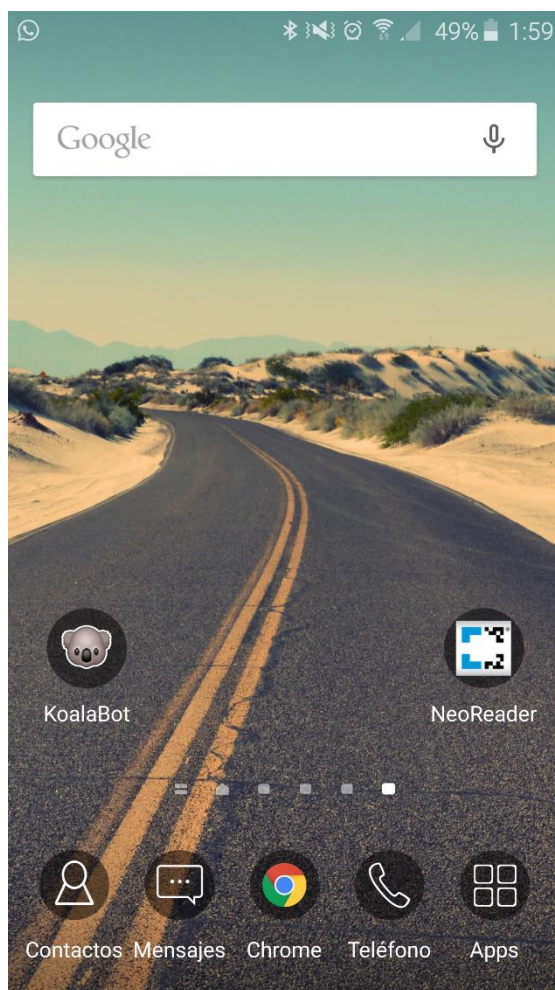


Figura 6.46. Implementación Software Hardware adoptada

### Implementación App - Dispositivo Móvil

Una vez concluida la fase de desarrollo del software de la app, incluyendo el diseño de la interfaz gráfica y los bloques de programación, se procede a su compilación, tras la cual App Inventor genera un código QR. De esta forma, tras escanear el código QR mediante la app NeoReader desde el smartphone empleado para controlar el KoalaBot Mini en el presente proyecto (Samsung Galaxy S6), la aplicación diseñada se descargara a nuestro dispositivo Android. Tras aceptar los términos, condiciones y permisos, la app será instalada y estará lista para su utilización y proceder al control del KoalaBot Mini. El acceso directo de la aplicación KoalaBot instalada en el dispositivo smartphone empleado se puede observar en la figura 6.47.



*Figura 6.47. Interfaz Android con la app KoalaBot descargada*



## 7. PROTOCOLO DE PRUEBAS

En este capítulo se mostrarán todas las fases de pruebas llevadas a cabo para evaluar el funcionamiento del prototipo físico del KoalaBot Mini y verificar que cumple con todas y cada una de las especificaciones técnicas requeridas, tanto a nivel de cada subsistema (mecánico, electrónico, control) como a nivel del conjunto mecatrónico global.

### 7.1. Pruebas de funcionamiento parcial

En el presente apartado se detallan las diferentes pruebas de test parciales ejecutadas para probar el correcto funcionamiento de los diferentes mecanismos que constituyen la parte mecánica, electrónica y de control del prototipo. En el caso de que alguna de las partes del diseño parcial no supere las pruebas del funcionamiento requerido, se llevará a cabo una fase adicional de ajuste y rediseño para asegurar la validación del prototipo.

#### 7.1.1. Mecánicas

A continuación se detallan las diferentes pruebas de test mecánicas ejecutadas para probar el correcto funcionamiento de los diferentes mecanismos que constituyen la parte mecánica del prototipo (tabla 7.1). Dicha fase de test incluye el posterior proceso de ajuste en el caso de que alguna de las partes del diseño mecánico no supere las pruebas de funcionamiento requeridas para su aprobación.

Prueba/Ensayo	Objetivo	Desarrollo
Mecanismo Tubo Tensor	Verificar que el resorte se comprime o se expande a medida que se aprieta o se afloja el tornillo tensor	Se procedió a montar el conjunto tubo tensor y apretar los muelles para comprobar que la pieza tensor avanzaba o retrocedía en función del ajuste del tornillo tensor
Articulación y cierre del chasis	Verificar que los dos chasis no colisionan entre si cuando se abre la estructura portante y comprobar que las bisagras permiten el correcto cierre del prototipo sobre el poste acoplado	Se procedió al montaje del prototipo completo y se observó que no existían restricciones a la hora de incorporar el prototipo a un poste de 40mm de diámetro
Capacidad de sustentación	Verificar que el prototipo se mantiene sostenido sobre el poste una vez montado	Se procedió al montaje del prototipo completo y tras incorporarlo a un poste de 40mm de diámetro se apretaron los tornillos de los 3 brazos tensores
Capacidad de tracción	Verificar que las ruedas del prototipo tengan la tracción necesaria para permitir el correcto ascenso por un poste de 40 mm.	Se procedió al montaje del prototipo completo y tras incorporarlo a un poste de 40mm de diámetro y apretar los tornillos de los 3 brazos tensores, se puso en marcha el motor DC.
Alineación de patines	Verificar que los 2 conjuntos brazos conducidos y el brazo motriz se encuentran correctamente alineados verticalmente con el poste para su correcto funcionamiento	Se procedió al montaje del prototipo completo y tras incorporarlo a un poste de 40mm de diámetro y apretar los tornillos de los 3 brazos tensores, se comprobó que las ruedas se apoyaban correctamente sobre la superficie del poste

Tabla 7.1. Protocolo de pruebas de carácter mecánico

### 7.1.2. *Electrónicas*

Una vez diseñada, fabricada y montada la tarjeta de circuito impreso, se procede a la comprobación de su correcto funcionamiento. Para ello se plantea un proceso de análisis modular y progresivo con el fin de facilitar la tarea de detección de errores en el montaje y/o diseño de la PCB.

Las pruebas realizadas sobre el subsistema electrónico consistieron en testear las placas de circuito impreso para verificar que los diferentes niveles de alimentación y masa en todos los puntos del circuito son los adecuados. En esta fase también se comprueban que las señales emitidas y recibidas por cada componente electrónico están dentro de los umbrales de tensión requeridos, así como las correspondientes adaptaciones de señales en el caso de que fueran necesarias.

De esta manera fue posible detectar diversos fallos de montaje, tales como errores en las soldaduras de los componentes. Uno de los fallos más comunes producidos durante la fase de soldadura es la escasa aplicación de estaño, lo que supone un mal contacto entre el pad y el pin del componente y por lo tanto una falta de continuidad en una determinada pista de la PCB. Por el contrario, otro error muy común es aplicar una excesiva cantidad de estaño sobre el pad, creando el riesgo de contacto con otros pads o componentes cercanos y provocar un cortocircuito en la placa. Durante esta fase también se identifica la incorporación de componentes defectuosos en la placa, los cuales se reemplazaron para conseguir el funcionamiento deseado.

Una vez que la placa está perfectamente montada, testeada y alimentada, se procede a la ejecución de los protocolos de test desarrollados para la comprobación y verificación del correcto funcionamiento de los subsistemas que constituyen el diseño electrónico (hardware). Con la ejecución de los ensayos planteados en la tabla 7.2 es posible realizar un análisis focalizado de los componentes fundamentales de la PCB y facilitar así la corrección de errores de montaje o diseño del circuito.

Prueba/Ensayo	Objetivo	Desarrollo
Masa del circuito	Comprobar que todos los componentes electrónicos de la placa están correctamente conectados a GND, al igual que la masa del circuito se encuentre correctamente cerrada.	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio y pruebas de continuidad mediante un polímetro
Niveles de tensión del Motor DC/Puente en H	Verificar la tensión de alimentación (7,4V) y la tensión lógica (5V) del puente en H para que abastezca correctamente al motor DC	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio
Niveles de tensión del Módulo Bluetooth	Verificar que la tensión de alimentación del módulo Bluetooth es de 5V y que sus líneas Tx y Rx no excedan los 3.3V	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio
Niveles de tensión del Encoder Magnético	Verificar que la tensión de alimentación del encoder es de 5V y que los niveles de tensión de sus canales de salida sean también de 5V para su correcta interacción con el microcontrolador	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio
Niveles de tensión del Microcontrolador	Verificar que la tensión de alimentación del microcontrolador es de 5V y que los niveles de tensión de todos sus inputs son coherentes con los valores Vih y Vil del microcontrolador para la correcta interpretación de las señales. Ninguna señal debe exceder los 5V de alimentación para evitar que el microcontrolador salga dañado.	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio

Niveles de tensión de la fuente de 5V	Verificar que la tensión de alimentación del integrado 7805 es de 7,4V y que su tensión de salida es de 5V	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio
Niveles de tensión y conexiones del Pikit3	Verificar que la tensión de alimentación del Pikit3 es de 5V y comprobar el correcto conexionado con los pines PGC PGD y MCRL	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio y pruebas de continuidad mediante un polímetro
Pulsador Reset	Verificar el funcionamiento del pulsador que ejecuta el modo reset del microcontrolador	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio y pruebas de continuidad mediante un polímetro
LEDs	Verificar el correcto conexionado del circuito de adaptación que permite el encendido y apagado de los LEDs	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio y pruebas de continuidad mediante un polímetro
Comunicación serie asíncrona	Verificar el correcto conexionado de los pines Tx y Rx del microcontrolador con los pines Rx y Tx del módulo Bluetooth.	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio y pruebas de continuidad mediante un polímetro
Inversor	Verificar que la señal digital a la entrada (0 o 1) sale invertida a la salida del mismo (1 o 0)	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio y pruebas de continuidad mediante un polímetro
Señal PWM	Verificar que la señal PWM es transmitida correctamente desde el microcontrolador al puente en H y del mismo al motor DC	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio
Adaptación de señales	Verificar que la señal de 5V del microcontrolador sea de 3.3V a la salida del circuito de adaptación para poder conectarse sin problemas con el modulo Bluetooth	Comprobación física de los niveles de voltaje sobre la PCB mediante un osciloscopio
Componentes pasivos	Comprobar que los niveles de las resistencias y la capacidad de los condensadores implementados en la PCB coinciden con el diseño adoptado	Comprobación física de la resistencia y la capacidad sobre la PCB mediante un osciloscopio

Tabla 7.2. Protocolo de pruebas de carácter electrónico

La realización de este protocolo de pruebas permitió verificar y asegurar el correcto funcionamiento de los diferentes módulos que componen el subsistema electrónico. Tras este análisis, las características funcionales de la placa quedan correctamente validadas.

### 7.1.3. Software

Con el sistema montado se ha procedido a la realización sucesiva de los diferentes ensayos programados en la planificación. El protocolo de pruebas relativo al subsistema de control se divide en dos categorías.

En primer lugar, se testó el funcionamiento del código de programación desde el propio entorno de programación MPLAB IDE v8.60. Una vez eliminados los posibles errores de sintaxis del código mediante la herramienta de compilación, se simula el software programado mediante el modo Debugger empleando la herramienta MPLAB SIM. De esta manera se depuran los errores más significativos del código C.

El segundo paso de la fase de test del diseño del programa consiste en probar el funcionamiento del código C (software) sobre el subsistema electrónico del prototipo (hardware), protocolo que se desarrollara en el siguiente apartado “Simulación del sistema global mecatrónico”.

## 7.2. Pruebas de funcionamiento del sistema global mecatrónico

Una vez comprobado que los sistemas parciales no tienen fallos, se llevan a cabo las pruebas finales que tienen por objetivo simular el funcionamiento normal del sistema mecatrónico como conjunto para asegurar que todas sus funcionalidades se ejecutan de manera correcta.

El subsistema electrónico está estrechamente vinculado al subsistema de control, por lo en primer lugar se simulará el funcionamiento de estos dos partes de manera conjunta. La metodología de esta fase de pruebas consiste en ir simulando el programa de manera parcial y diversificada con la finalidad de ir ejecutando el control de manera aislada en cada uno de los módulos del hardware electrónico. De esta manera se testea el correcto funcionamiento de la parte hardware y software como conjunto global. A continuación se representa el protocolo de test desarrollado en esta fase, especificando el módulo comprobado y la referencia al código empleada para dicho fin (tabla 7.3).

Prueba/Ensayo	Objetivo	Desarrollo
Configuración del oscilador	Verificar que el cristal de cuarzo ejerce la función de oscilador externo	Configurar los FUSES para que el cristal externo funcione como oscilador
Modo reset	Verificar que el pulsador RESET está programado para resetear el microcontrolador	Configurar los FUSES para que el pin MLCR funcione como reset
Comunicación serie asíncrona	Verificar el código que permite la correcta comunicación entre el microcontrolador y el modulo bluetooth	Comprobar la programación de la interrupción por datos en USART y la configuración de los FUSES (velocidad de transmisión, pin receptor, pin emisor,...)
Modo automático de posición	Verificar que las señales procedentes del encoder magnético están siendo correctamente procesadas e interpretadas por el microcontrolador	Comprobar la programación de la interrupción por flanco externo (RB0) y su algoritmo de conversión de pulsos a distancia recorrida
Modo automático temporizado	Verificar que el microcontrolador está midiendo tiempo mediante un registro temporizador (TIMER1)	Comprobar la programación de la interrupción por desborde del TIMER1 y su algoritmo de conversión de desbordes a tiempo de funcionamiento
Generación señal PWM	Verificar que el microcontrolador está emitiendo una señal PWM para modular la velocidad de giro del motor	Comprobar la programación del Módulo CCP1 en Modo PWM y la configuración del TIMER2 requerida
Configuración de puertos de E/S	Verificar que los pines están correctamente configurados como entradas o salidas según los requerimientos	Comprobar que los dos canales del encoder están configurados como entradas. Comprobar que las 5 líneas de LEDs, el pin del módulo CCP que emite la señal PWM y el pin de sentido de giro del motor están configurados como salidas
Secuencias de LEDs	Verificar el correcto funcionamiento de las secuencias de encendido y apagado de LEDs programadas	Comprobar la configuración del estado de los pines digitales de salida de los LEDs y las funciones delay_ms

Tabla 7.3. Protocolo de pruebas del software



Por último, se simula el funcionamiento del subsistema mecánico tras implementarle el conjunto hardware-software, lo que permite obtener un prototipo mecatrónico funcional y automatizado.

Las pruebas realizadas sobre el sistema mecatrónico global se describen a continuación.

#### **7.2.1. Duración de las baterías.**

Se programó el funcionamiento del KoalaBot Mini para que ejecutara ciclos de subida y bajada de forma continua para medir el tiempo de funcionamiento de la batería. La distancia recorrida fue de 1 m. Cabe mencionar que hubo problemas con el funcionamiento del motor en el primer intento de realizar la prueba. Una vez iniciada la ejecución de ciclos, el motor dejó de funcionar tras estar realizando ciclos de forma continuada durante 2 minutos. Dicho problema venía provocado principalmente por dos factores. El primero es que el continuo cambio de sentido del motor durante la ejecución repetida de los ciclos de subida y bajada provocó que las escobillas del motor se obstruyeran. El segundo era la ineficiente capacidad de refrigeración del motor, ya que después de la prueba fallida, se observó que su temperatura era excesivamente elevada. La causa de esto viene provocada por que la carcasa y la placa motor sobre la que reposa son de materiales plásticos, los cuales no permiten la correcta disipación de calor.

Para que el motor volviera a funcionar fue necesario desmontar el motor y recolocar las escobillas. Con el fin de evitar este efecto en posteriores intentos de la presente prueba, se propuso la perforación de la carcasa del motor para que éste se refrigerara mejor y así asegurar el buen funcionamiento del motor. Además, para solucionar el primer problema, se propuso dejar un tiempo de conmutación de unos 4 segundos entre cada ciclo de subida y de bajada con el fin de evitar el colapso del motor.

Con las nuevas medidas adoptadas, se pudo volver a realizar la prueba de duración de las baterías. Los resultados reflejan que el prototipo estuvo funcionando de forma cíclica unos 17 minutos aproximadamente hasta que se vio que el voltaje de las baterías estaba empezando a agotarse y dejaban de abastecer al motor del voltaje requerido para su óptimo funcionamiento.

#### **7.2.2. Capacidad de carga.**

Se pretende determinar cuál es la capacidad de carga real del prototipo. El objetivo de esta prueba es poder determinar los posibles elementos auxiliares que pueden incorporarse para futuras aplicaciones o desarrollos futuros, sin que el peso de los mismos ponga en peligro el correcto funcionamiento y capacidad de ascenso del KoalaBot. Para llevar a cabo esta prueba, se colocaron sobre la carcasa distintas cargas de peso conocido y se comprobó hasta qué valor de las mismas era capaz de ascender el KoalaBot Mini sin colapsar.

Tras realizar esta prueba, los resultados reflejan que se ha llegado a incorporar sobre el KoalaBot Mini un peso de hasta 130 gr sin que su capacidad de ascenso se mermara, además de cargar con su propio peso de 350 gr. Si sumamos ambos pesos se puede concretar que el KoalaBot Mini es capaz de levantar un total aproximado de 480 gr.

#### **7.2.3. Velocidad de ascenso.**

Esta prueba tiene por objeto testear la velocidad de ascenso real del KoalaBot Mini. Dicha comprobación se realiza debido a que los cálculos teóricos llevados a cabo en la fase de diseño se

basan en parámetros ideales, sin tener en cuenta las pérdidas y fricciones reales que tienen lugar en los sistemas mecánicos. Por ello, para asegurar que la velocidad de ascenso real del prototipo cumple con las especificaciones técnicas, se adoptó un valor de velocidad sobredimensionado para la realización de los cálculos. La realización de la presente prueba consistió en tomar 5 medidas del tiempo que tarda el KoalaBot Mini en ascender un metro de poste y, a partir de los cálculos obtenidos, se calcula la velocidad promedio de ascenso.

Tras ejecutar esta prueba, los resultados obtenidos reflejan que el valor real de la velocidad de ascenso máxima es de 0.2 m/s, es decir, 12 m/min.

#### **7.2.4. Velocidad de descenso.**

En la presente prueba se quiere determinar cuál es la máxima velocidad de descenso del prototipo. Como ya se explicó anteriormente, los valores teóricos de velocidad adoptados no se corresponden con los valores prácticos con el prototipo real implementado. En este caso, la velocidad de descenso va a ser mayor que la velocidad teórica calculada (además de la velocidad de ascenso anteriormente contrastada), debido a que la acción de la gravedad y el peso del propio prototipo favorecen el movimiento de descenso del KoalaBot Mini. El procedimiento llevado a cabo sigue la misma dinámica que la prueba de velocidad de ascenso: se toman 5 medidas del tiempo que tarda el prototipo en descender 1 metro de poste y se calcula el promedio.

Tras realizar la prueba, se puede concretar que la velocidad máxima de descenso del KoalaBot Mini es de 25 m/min.

### **7.3. Valoración de las pruebas realizadas**

Como ya se mencionó en apartados anteriores, la selección de la batería fue una imposición del diseño electrónico debido a su disponibilidad directa y para ahorrar costes en el encargo de otras baterías. Las pruebas prácticas determinan que la duración de la batería empleada en el proyecto tiene una autonomía que puede resultar limitada en función de la aplicación que se le quiera dar. El problema se vería resuelto con la adquisición de una nueva batería con una capacidad mayor de los 500mAh de la batería adoptada si los recursos y la disponibilidad lo permiten.

Realmente no constaba en las especificaciones técnicas ninguna restricción que obligara al KoalaBot Mini levantar un peso adicional al de su propia masa. Sin embargo, tras realizar la prueba “Capacidad de carga”, se concretó que el prototipo tenía un margen de peso que podía soportar de manera adicional. Estos resultados resultan positivos dado que queda abierta la posibilidad de ampliar el diseño inicial e incorporar ciertos componentes electrónicos de peso reducido que ejerzan funciones auxiliares, como sensores, cámaras o pantallas de señalización entre otras. El valor total del peso que puede soportar el prototipo KoalaBot según la fase de test práctica es de aproximadamente 480 gr, valor muy próximo al peso adoptado para los cálculos teóricos (500 gr). Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta prueba pueden considerarse como positivos.

En cuanto a la prueba “Velocidad de Ascenso”, se puede observar como el valor obtenido del caso práctico (12 m/min) no corresponde con el valor teórico adoptado de forma sobredimensionada (20 m/min). No obstante, el valor de la velocidad real sigue estando por encima de la velocidad de ascenso del KoalaBot original (3 m/min), que realmente era el objetivo que se demandaba en las especificaciones técnicas. Por lo tanto, se puede dar como positivo el resultado obtenido en esta prueba.

Los resultados obtenidos en la prueba “Velocidad de Descenso” (25 m/min) son también validos si tenemos en cuenta que supera a la velocidad de ascenso teórica adoptada (20 m/min), la velocidad de ascenso real del KoalaBot Mini (12 m/min) y la velocidad del Koala original (3 m/min).

En la tabla 7.4 se recogen el total de las pruebas propuestas y los resultados obtenidos.

Id. prueba	Descripción	Estado	Resultado
1. 1.	Duración de las baterías.	Realizada	✓
1. 2.	Capacidad de carga.	Realizada	✓
1. 3.	Velocidad de ascenso.	Realizada	✓
1. 4.	Velocidad de descenso.	Realizada	✓

*Tabla 7.4. Pruebas del protocolo*

## 8. REDISEÑO

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño de este prototipo ha seguido un proceso iterativo. En este capítulo se pretende describir la evolución del prototipo hasta llegar al modelo final. Durante este proceso se han fabricado dos prototipos, que se describirán a continuación.

### 8.1. Chasis

La idea inicial de la carcasa consistía en fabricarla a partir de placas de aluminio, pero se decidió que con algún tipo de plástico sería más ligero y económico. El diseño inicial de la misma se puede ver en la figura 8.1. Estaba formada por cuatro piezas de pequeño espesor. La separación vertical entre ellas era fijada por tres piezas separadoras que servían como alojamiento para los tres brazos. Respecto a la apertura, en un lado habría una bisagra fija y en el otro un cierre rápido.

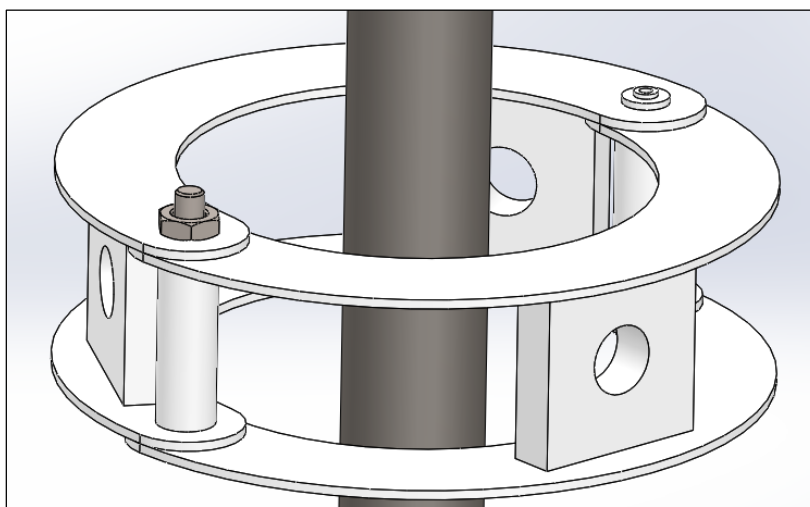


Figura 8.1. Diseño inicial de la carcasa

Sin embargo, posteriormente se decidió hacer la carcasa a partir de una polea de PVC que había disponible. Esto supuso una reducción del número de piezas y del peso del conjunto carcasa, así como el ahorro del coste de material y fabricación que hubiese supuesto el diseño inicial respecto a la presente. La desventaja fue el mecanismo de apertura y cierre, el cual requiere de cuatro ejes en este nuevo diseño. Se diseñaron dos piezas denominadas bisagras que cumplieran la función de bisagra y cierre. La figura 8.2 muestra la polea utilizada para el prototipo 1 con las bisagras ensambladas.

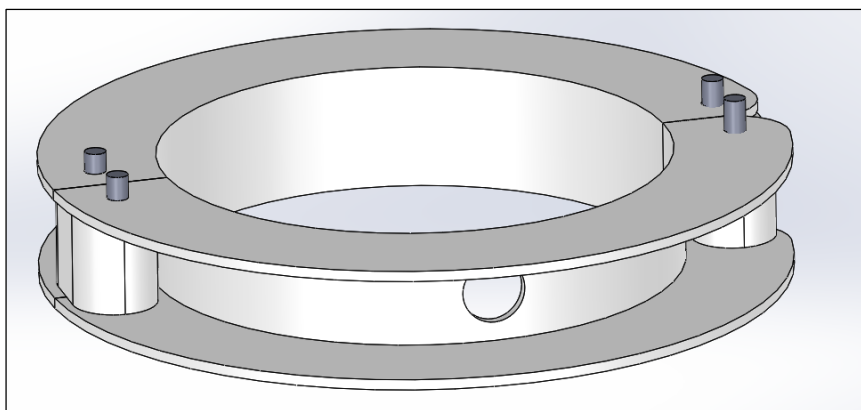


Figura 8.2. Chasis a partir de polea.

Para el prototipo 2, en lugar de utilizar la carcasa anterior, se utilizó la segunda polea mecanizada, en la que se había retirado menos material como puedes verse en la figura 8.3, dejando un diámetro interior menor pero una superficie mayor para los componentes electrónicos. Además, los nervios sirvieron para otorgarle al chasis una rigidez más elevada que el diseño inicial.

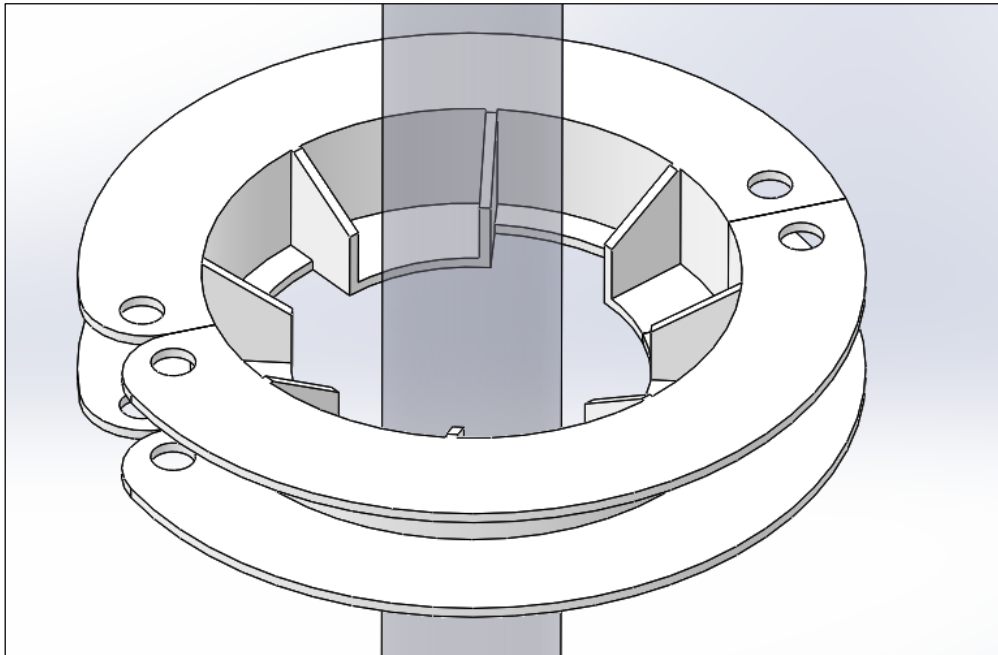


Figura 8.3. Chasis prototipo 2.

## 8.2. Bisagra

Para cerrar las bisagras se pensó en tornillos con sus tuercas en un inicio, y después se decidió en colocar la tuerca en el interior de la bisagra y utilizar varillas roscadas (figura 8.4).

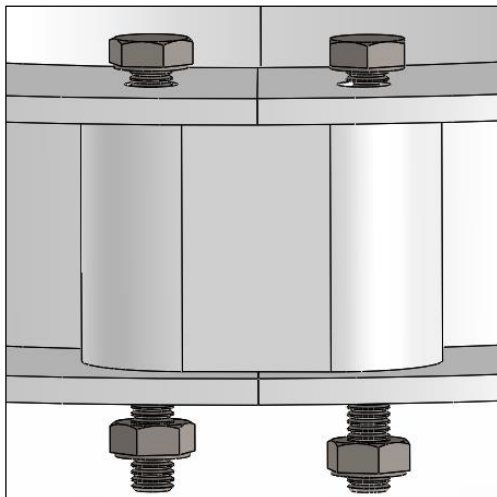


Figura 8.4. Bisagras v1.

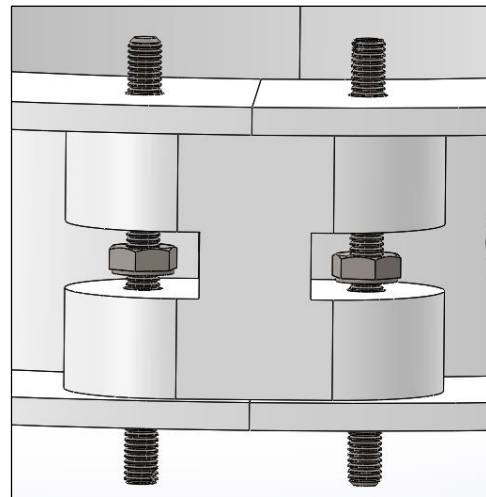
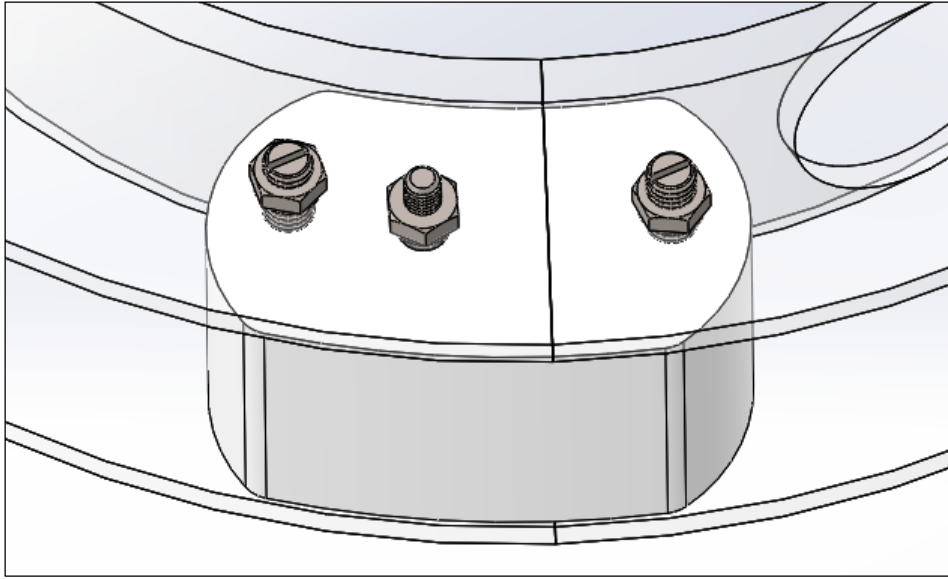


Figura 8.5. Bisagras v2.

Para el prototipo 1 fueron impresas las bisagras v2 (figura 8.5). Tras esto, que se observó que su diseño no era el correcto, pues permitían el movimiento relativo de las partes del chasis. Para solventar

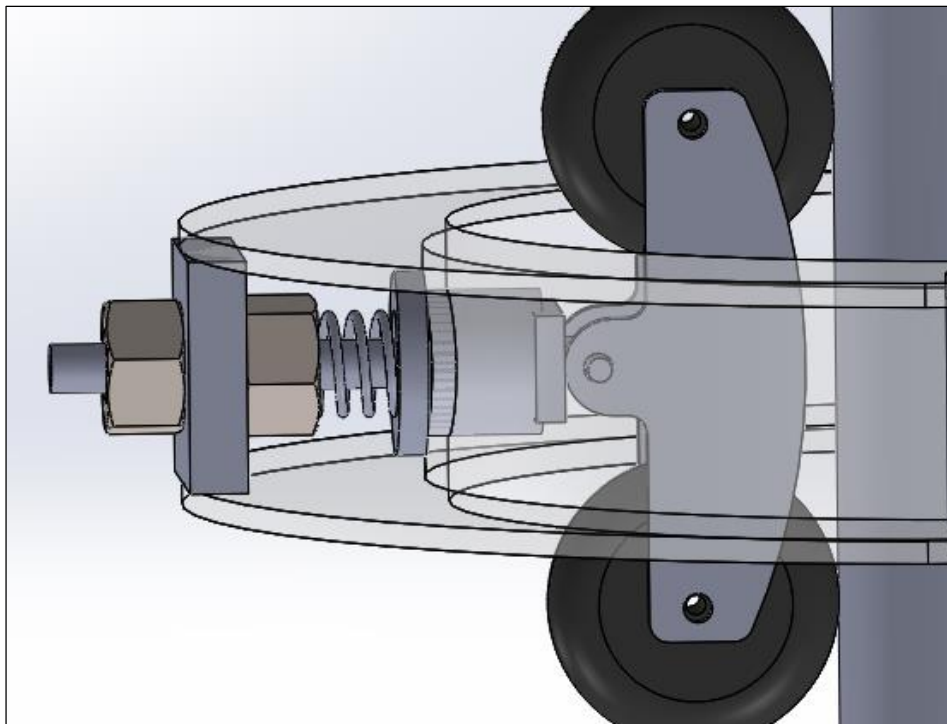
el problema, se decidió incluir tres ejes en cada bisagra, como se observa en la figura 8.6. De esta forma, el desplazamiento mencionado quedaba restringido.



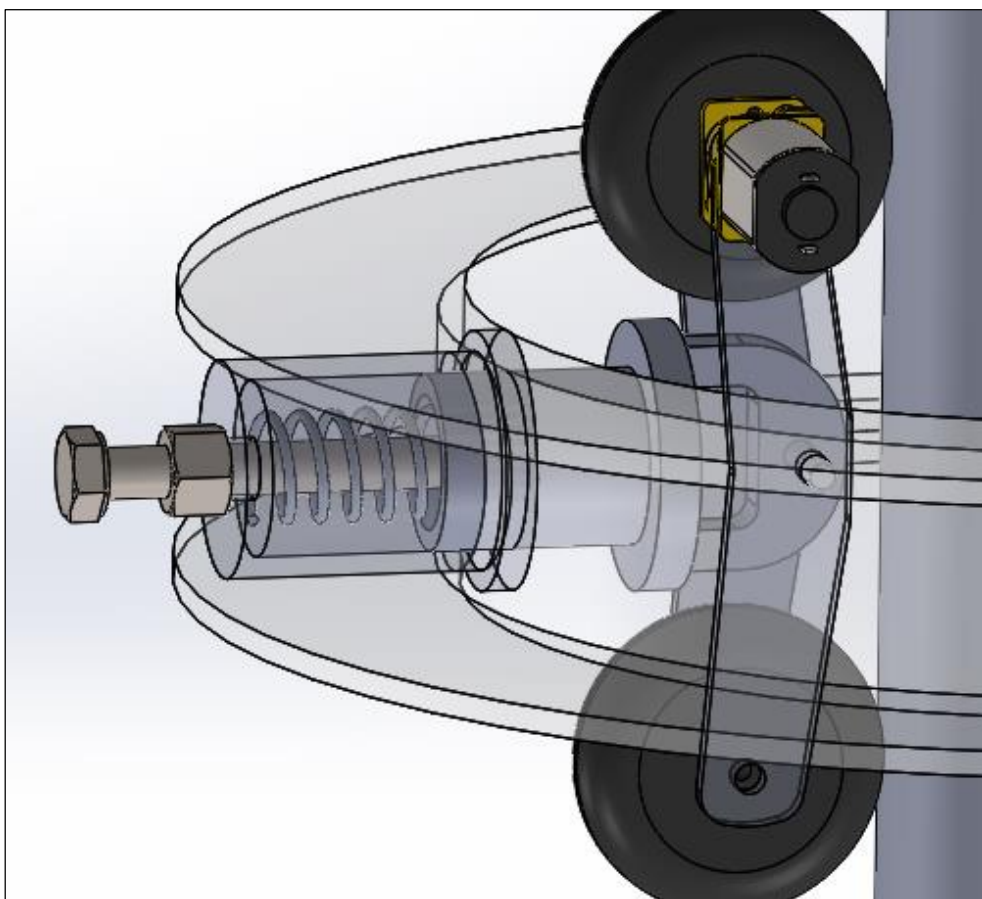
*Figura 8.6. Bisagras v3.*

### **8.3. Tubos tensores**

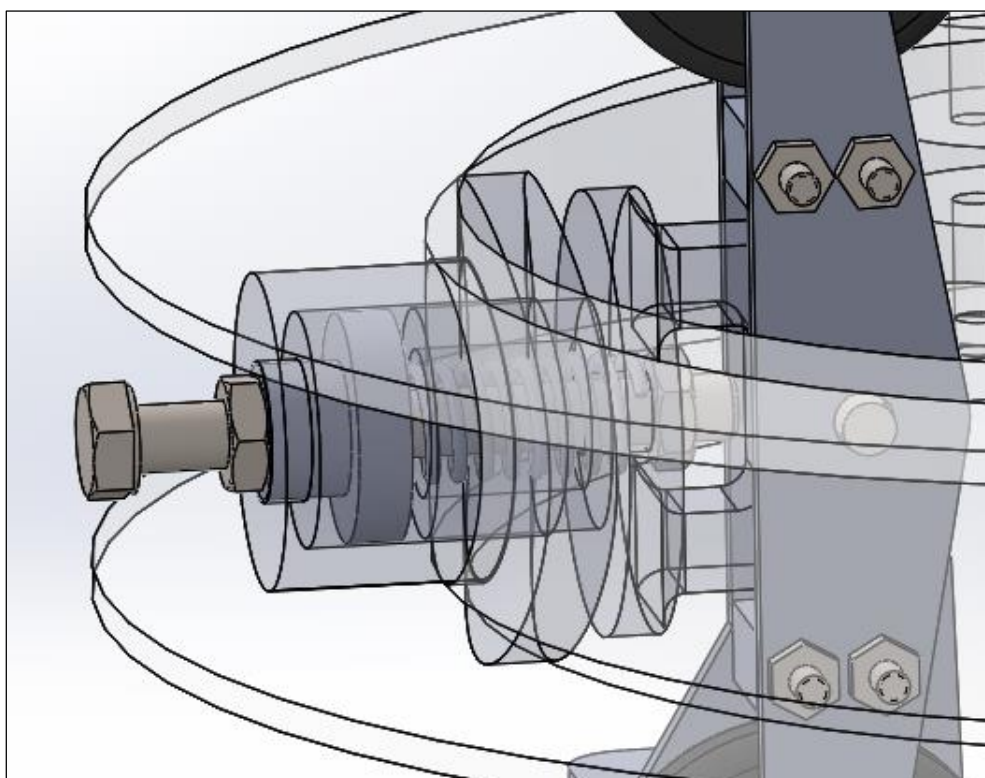
Se valoraron diferentes disposiciones para conseguir que al apretar el resorte la fuerza fuera transmitida a las ruedas. En los diseños ilustrados en las figuras 8.7, 8.8 y 8.9 se mantuvo la idea de que el resorte fuese apretado a medida que se gira una tuerca y el tornillo o varilla actuaba como guía.



*Figura 8.7. Brazo tensor v1.*

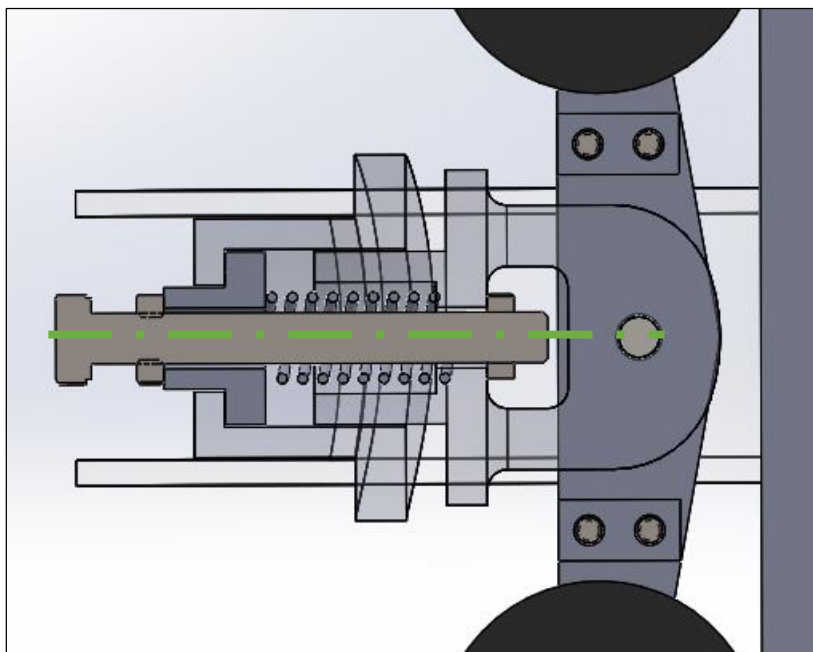


*Figura 8.8. Brazo tensor v2.*



*Figura 8.9. Brazo tensor v3.*

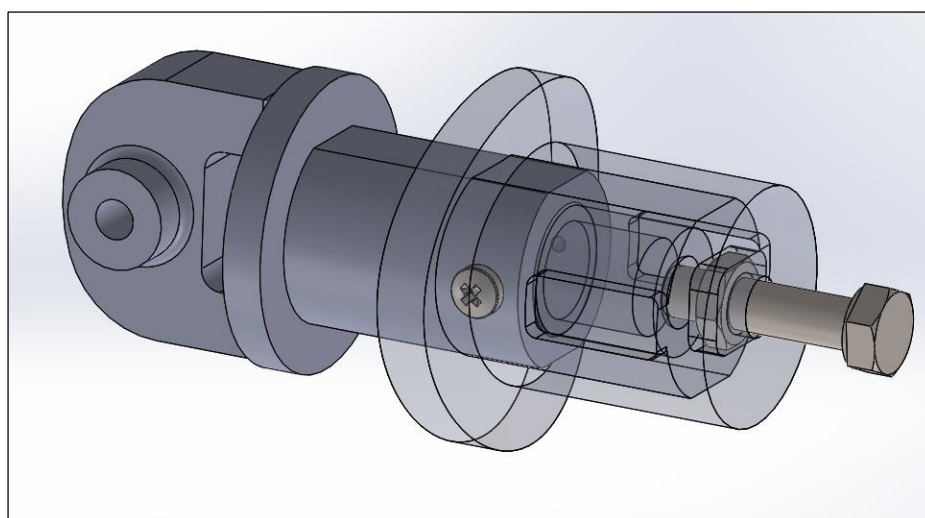




*Figura 8.10. Vista en corte brazo tensor v3.*

Al poner en funcionamiento el prototipo 1 se descubrió que los puentes junto con las ruedas podían girar con respecto al eje señalado en la figura 8.10. Esto era debido a que las dos piezas que alojaban al resorte tenían forma cilíndrica y el giro estaba permitido. También se observó que cuando el prototipo estaba fuera del poste los patines junto con las piezas tensoras no se mantenían en posición de reposo, ya que el resorte los expulsaba.

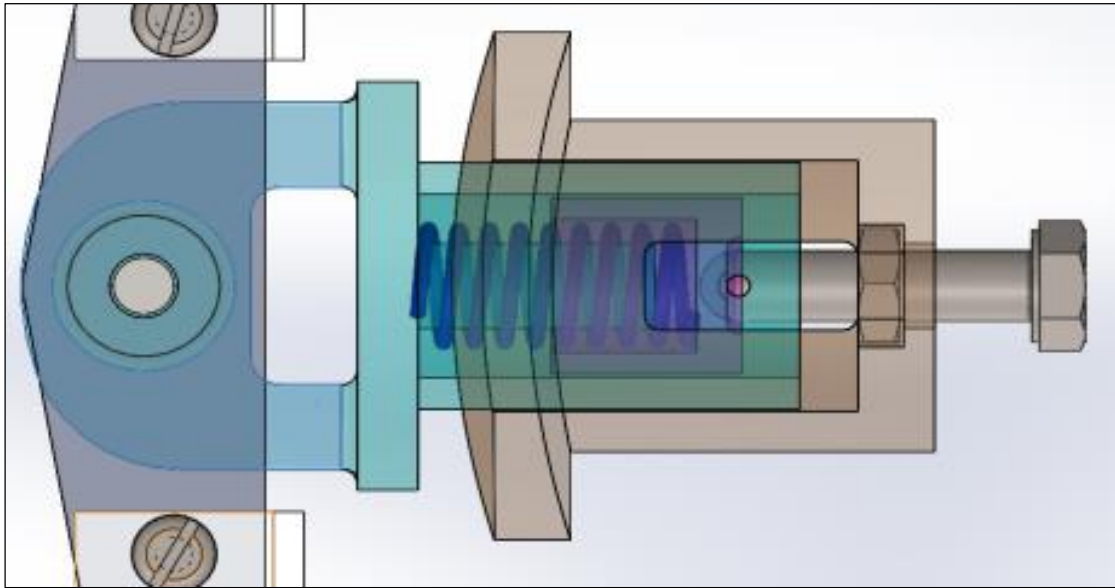
Para la segunda versión del prototipo, se impidió el giro de las mismas cambiando la sección circular por una achaflanada, como se puede ver en la figura 8.11.



*Figura 8.11. Brazo tensor v4.*

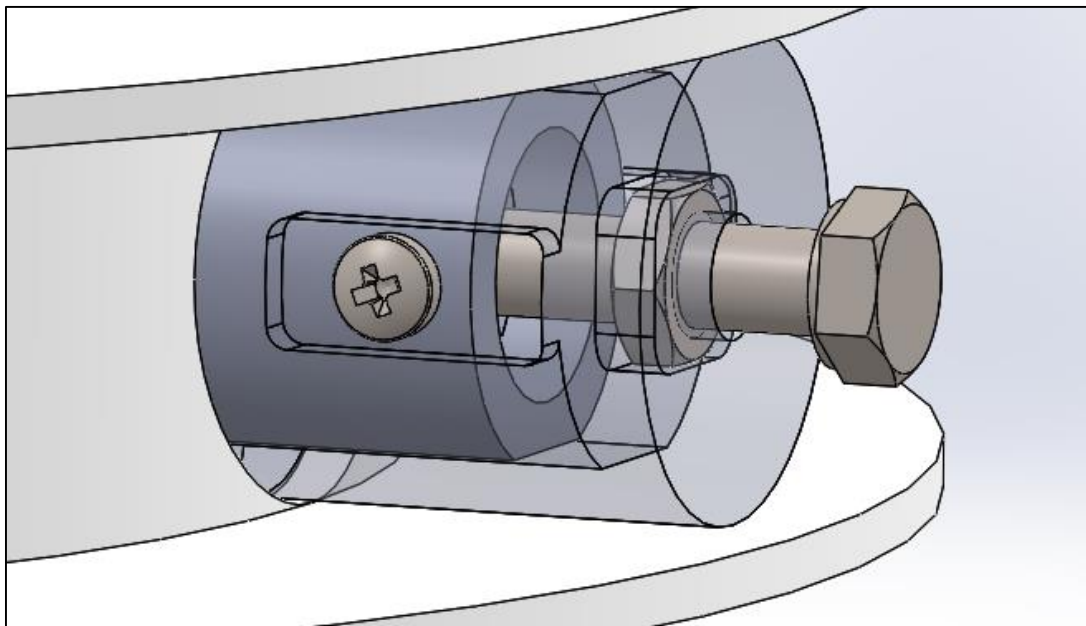
También se modificó la manera de apretar el resorte. En esta versión, el tornillo no actuaba como guía, sino que lo hacía la pieza tensor. Cuando el tornillo gira, provoca el avance de la pieza denominada tapón logrando así la compresión del resorte, como podemos ver en la figura 8.12.





*Figura 8.12. Componentes del brazo tensor v4.*

Para impedir que los patines fueran expulsados cuando el prototipo estuviera fuera del poste, se alargaron las piezas para que el resorte pudiera estar en posición de reposo y se diseñaron dos tornillos como tope para cada tensor, uno de cada lado, como puede verse en la figura 8.13.



*Figura 8.13. Tornillo tope.*

#### **8.4. Patines**

Con relación a los puentes, es decir, las dos piezas de cada patín que unen las ruedas con el eje que del brazo tensor, se pensaron varias alternativas como se puede ver en la figura 8.14.

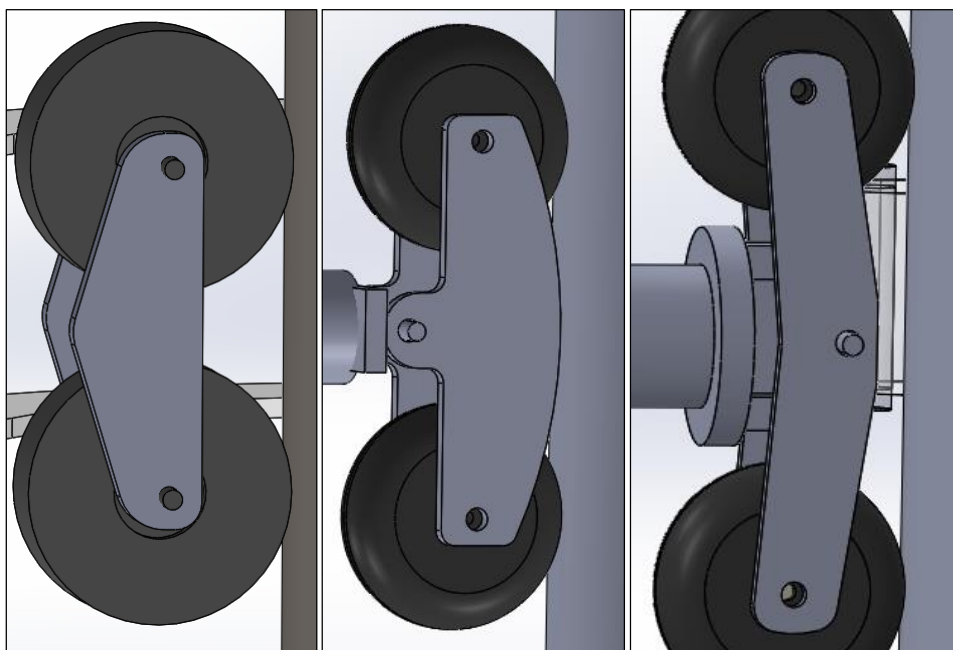


Figura 8.14. Evolución diseño patín.

La solución adoptada para el prototipo 1 fue la de la figura 8.15, en ella el eje del mecanismo tensor está adelantado con respecto a los de las ruedas, esto se realizó para ganar unos milímetros para el mecanismo, ya que el espacio está limitado por el diámetro externo de la carcasa, buscando que los tornillo y piezas queden en su interior. También se pueden observar separadores para fijar la distancia entre los dos puentes.

El conjunto está formado por tres brazos, siendo uno de ellos motriz, con el motor acoplado a una de las ruedas. Para la colocación del motor en el primer prototipo, se modificó uno de los puentes, donde se atornilla la carcasa, como la figura 8.16.

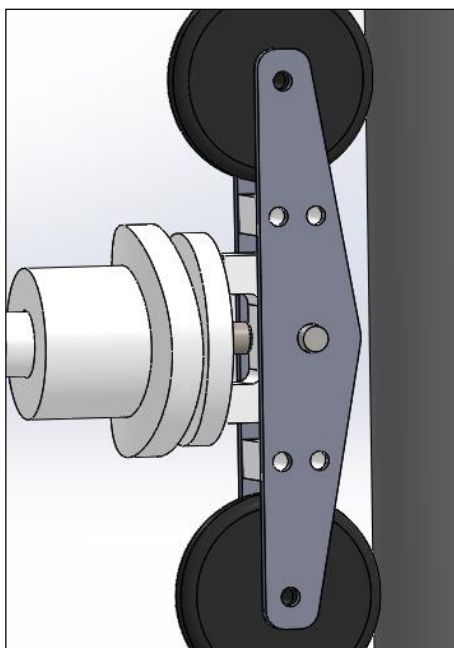


Figura 8.15. Patín prototipo 1.

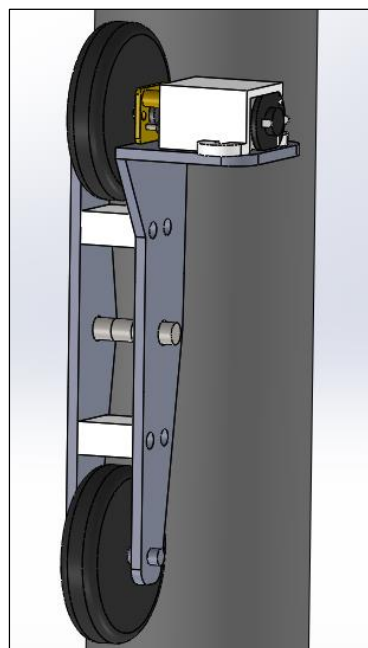
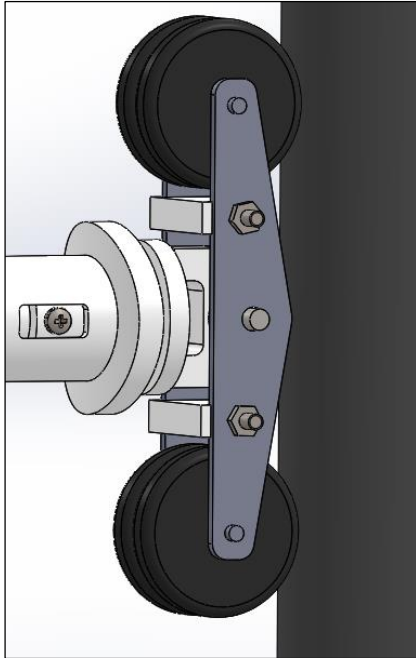
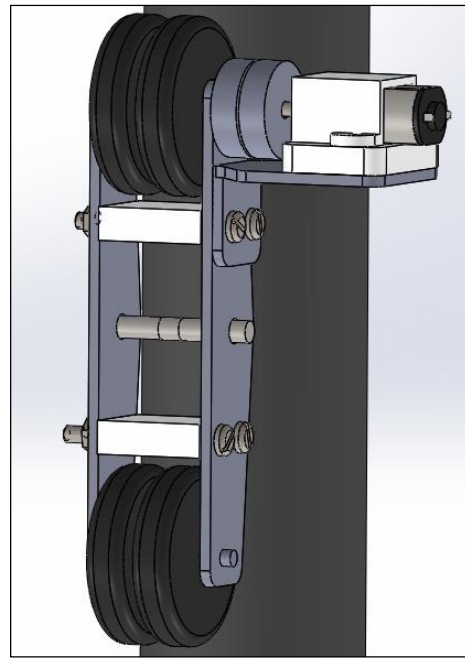


Figura 8.16. Patín motriz prototipo 1.

Como se observa en la figura 8.17 la mayor modificación del segundo prototipo fue la incorporación de dos ruedas por eje, de esta forma, se mejoró notablemente la adherencia total del mecanismo. Al aumentar las ruedas motrices a dos, el eje del motor no era suficientemente largo, por lo que se incorporó un acoplamiento al eje. El patín motriz también se modificó como puede verse en la figura 8.18.



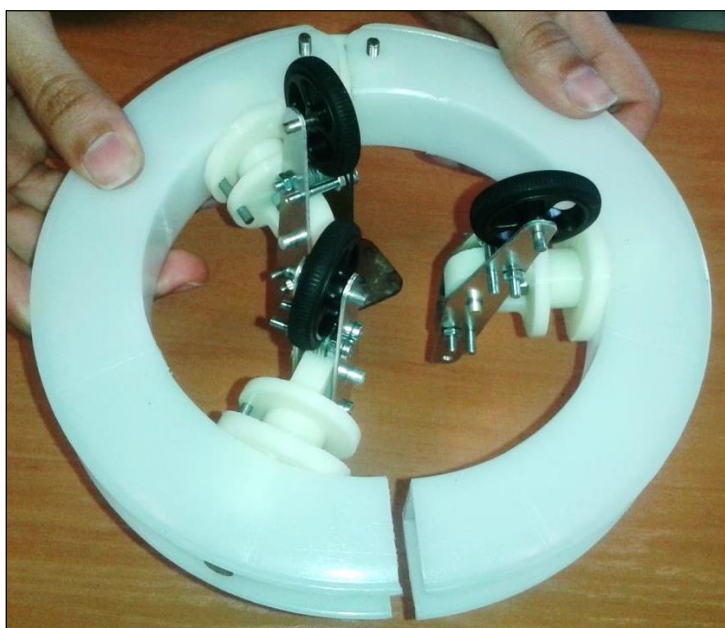
*Figura 8.17. Patín prototipo 2.*



*Figura 8.18 Patín motriz prototipo 2.*

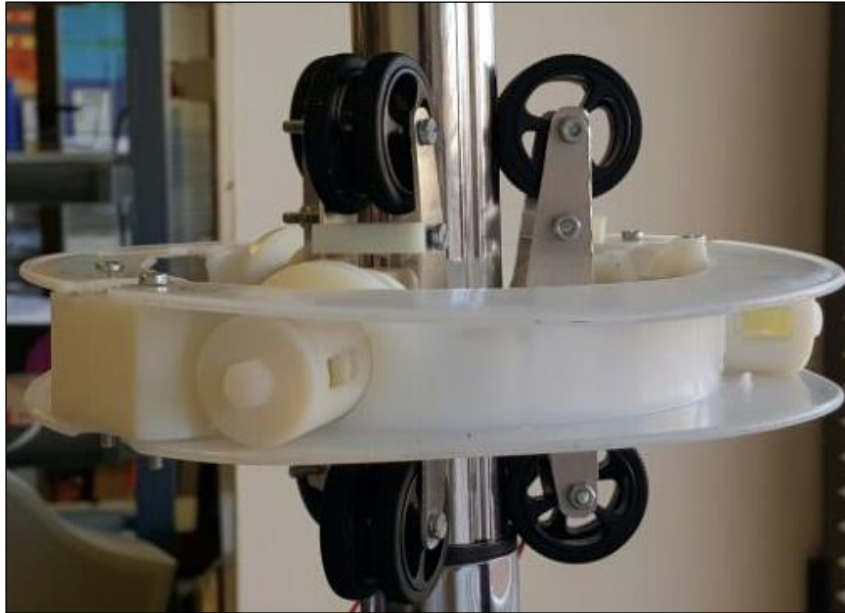
## **8.5. Prototipos**

En la figura 8.19 se puede ver el prototipo 1 con los elementos descritos anteriormente. Para evitar el giro indeseado de las piezas se colocó un eje de aluminio entre el tensor y su alojamiento.



*Figura 8.19. Prototipo 1.*

En la figura 8.20 pueden verse el segundo prototipo, en la figura, con tornillos de nylon en lugar de tornillos de metal como prueba.



*Figura 8.20. Prototipo 2.*

## 9. CONCLUSIONES

Tras abordar de forma organizada y sistemática cada una de las fases que componen el diseño, fabricación, montaje y verificación del presente proyecto mecatrónico, se extraen las siguientes conclusiones:

- Se ha conseguido diseñar una versión miniaturizada para pequeñas aplicaciones del ya conocido robot KoalaBot (al que se le ha denominado KoalaBot Mini), obtenido un prototipo más sencillo y de dimensiones mucho más reducidas que su predecesor. Además, se consiguió ajustar al máximo la especificación técnica relativa al peso total del prototipo (inicialmente de 1Kg) a menos de la mitad (350 gr).
- El diseño mecánico cuenta con mecanismos sencillos y un reducido número de piezas, lo que facilita el proceso de fabricación y montaje del prototipo físico, además de su desmontaje para posteriores labores de mantenimiento.
- Las especificaciones técnicas específicas relativas al diseño electrónico se han visto satisfechas, elaborando para ello una PCB lo más optimizada posible, de dimensiones reducidas y montada en el propio prototipo mecánico para permitir la ejecución de las funcionalidades principales del KoalaBot Mini.
- El diseño del software implementado en el hardware electrónico también cumple con todos los requisitos demandados, incluyendo dos modos de control diferenciados: uno manual y otro automático, con patrones de funcionamiento configurables por el usuario en función de la distancia de ascenso/descenso o el tiempo de acción del prototipo.
- Tanto los diseños del hardware electrónico como del programa del software son versátiles y dejan abierta la opción de ampliar las funcionalidades de control del KoalaBot Mini de forma asequible, pudiendo reconfigurar el código de programación o incorporar accesorios adicionales. Un ejemplo de aplicación en este ámbito sería la implementación de sensores o finales de carrera como sistema de seguridad adicional para que el prototipo se detenga en caso de detectar cerca el suelo o cualquier otro obstáculo.
- Se implementaron baterías recargables a bordo del prototipo, lo que permite su abastecimiento autónomo, sin necesidad de enchufarlo a la corriente.
- Se consiguió establecer una comunicación inalámbrica vía Bluetooth entre el hardware electrónico y un dispositivo móvil y/o Tablet, lo que le permite al usuario controlar fácilmente las funcionalidades del KoalaBot Mini de manera remota.
- Se llevó a cabo el proceso de fabricación y montaje individualizado de cada uno de los subconjuntos específicos y finalmente se implementaron de manera global para dar lugar a un prototipo mecatrónico completo.
- Los resultados obtenidos en la fase de test han resultado satisfactorios, demostrando que el KoalaBot Mini posee una velocidad tanto de ascenso (12m/min) como de descenso (25m/min) mayor que la velocidad del KoalaBot original (3m/min). Además se ha contrastado que además de soportar su propio peso (350 gr), posee una capacidad de carga adicional de unos 130 gr, aproximadamente un 37% más de su peso total.
- El prototipo finalmente implementado no solo cumple las expectativas iniciales de poder actuar sobre postes de sección circular constante de diámetro 40mm, sino que el mecanismo tensor

adoptado permite además emplear el KoalaBot Mini sobre postes de diámetros comprendidos entre 25 y 45 mm. También podría llegar a emplearse en postes de sección no constante siempre que se adapten a los rangos especificados.

- Además de diseñar el KoalaBot para diferentes diámetros de poste, se cumplieron otras especificaciones adicionales cuyo cumplimiento no era obligatorio:
  - Se ha conseguido un prototipo escalable, lo que permitiría implementar KoalaBots para aplicaciones de mayor tamaño con el mismo diseño adoptado en este proyecto.
  - Se le incorporó una carcasa al prototipo, que además de otorgarle protección al KoalaBot y ocultar la mecánica interna y los componentes electrónicos, le proporciona un diseño más estético y original.
  - Se implementó una fila de LEDs distribuidos por el perímetro del chasis del KoalaBot Mini, con la posibilidad de programar diferentes secuencias de encendido y apagado controlables por el usuario.
  - Se diseñó una App específica para el control del KoalaBot Mini, incluyendo los bloques de programación necesarios y el diseño de una interfaz gráfica estética y ergonómica que hiciese más fácil e intuible el envío de comandos entre el usuario y el prototipo.

Teniendo en cuenta los puntos expuestos, se puede concluir que los objetivos planteados en la fase inicial de este proyecto se han cumplido de forma satisfactoria. No obstante, este trabajo deja la puerta abierta a nuevos proyectos y futuras aplicaciones que permitan seguir desarrollando todas las posibilidades y la potencialidad del KoalaBot como prototipo mecatrónico.

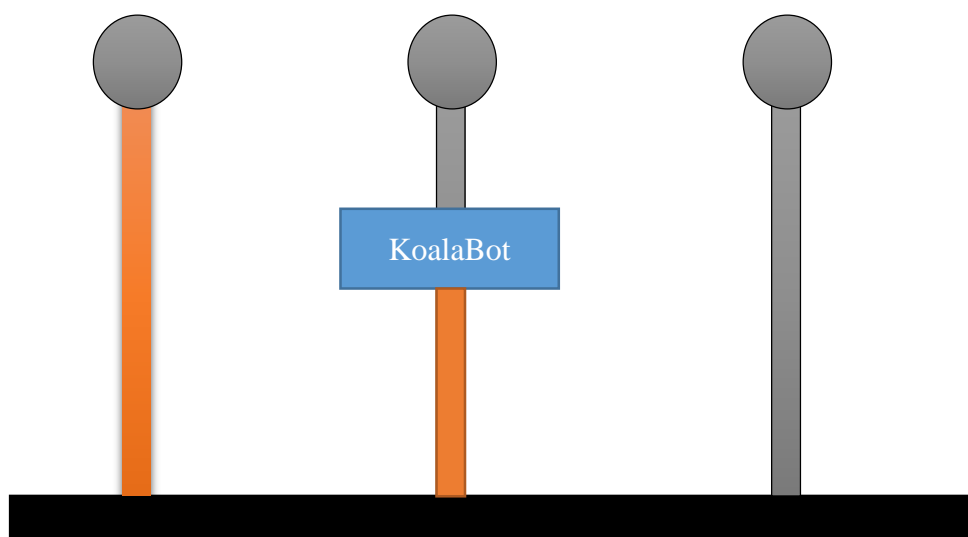
## 10. APLICABILIDAD Y DESARROLLOS FUTUROS

En este capítulo se abordarán algunas de las aplicaciones prácticas a las que podría estar dirigido el KoalaBot Mini como plataforma de ascenso a postes. También se plantean posibles ampliaciones del presente prototipo de cara al desarrollo de proyectos futuros que tengan por objetivo explotar la potencialidad del KoalaBot Mini.

### *10.1. Pintado de tubos.*

Desarrollando el correspondiente accesorio auxiliar, este prototipo podría desarrollar labores de pintado para protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante la aplicación de pinturas y barnices.

Antes de pintar se debe eliminar la grasa, el aceite, el polvo y cualquier otro contaminante depositado sobre la superficie a tratar, por lo que el proceso se haría con dos herramientas pero todo en una sola pasada. Por delante pasaría la herramienta limpiadora, y de manera inmediata se realizaría el proceso de pintado, como se representa en la figura 10.1.



*Figura 10.1. Ejemplo de pintado.*

### *10.2. Grabación o Videovigilancia*

Incorporando una cámara a bordo del prototipo, como se muestra en la figura 10.2, el KoalaBot Mini sería capaz de realizar labores de grabación y vigilancia, permitiendo además distintos ángulos y alturas de grabación. La posibilidad de que sea una plataforma móvil, permitiría utilizar este dispositivo en congresos, ferias, conciertos o cualquier acto público dónde haya una gran concentración de personas y pudiera resultar de interés el aprovechamiento de esa perspectiva estratégica.

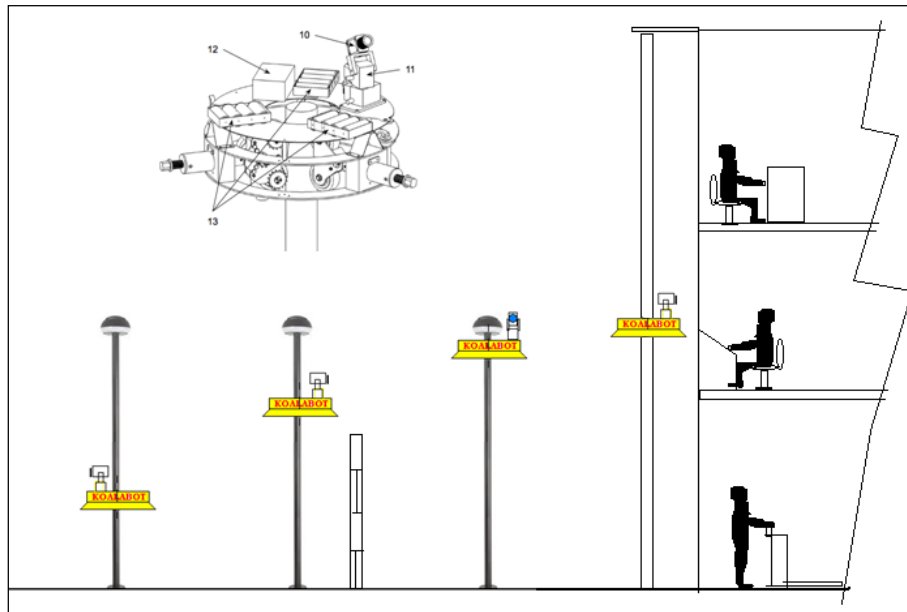


Figura 10.2. Dispositivo de vigilancia.

### 10.3. Estación meteorológica

Dada su capacidad para ascender y mantenerse a una altura determinada, el KoalaBot Mini podría trabajar como estación meteorológica no permanente. De esta forma se podría utilizar en distintos ambientes, aprovechando siempre la fácil movilidad y portabilidad del prototipo por una sola persona.

### 10.4. Señalización

Otra desarrollo futuro podría pasar por incorporar una unidad Pan&Tilt sobre el chasis del KoalaBot Mini, que servirá como soporte para la colocación de diversos elementos auxiliares con fines de señalización, tales como diodos laser o focos, pero también pantallas informativas o carteles de aviso, como en el ejemplo de la figura 10.3.

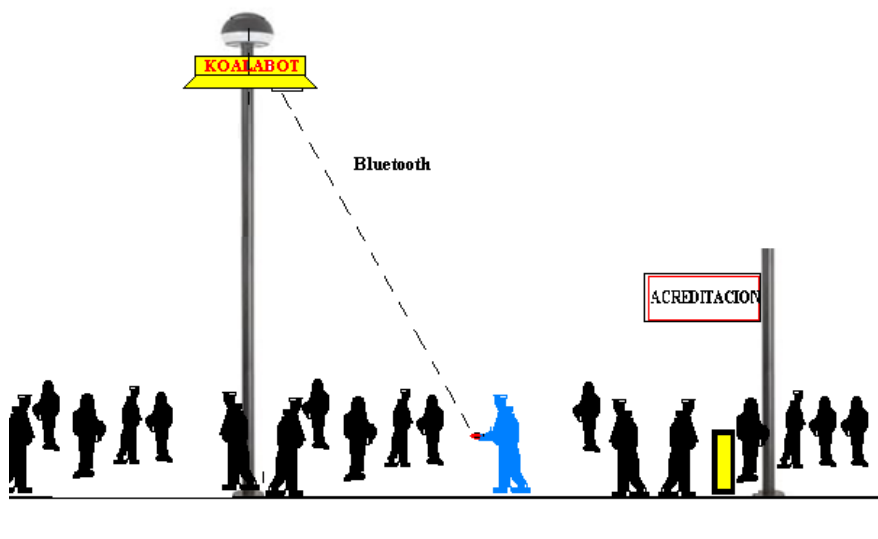


Figura 10.3. Aplicación de pantallas informativas en ambientes masificados



Una aplicación concreta que emplee esta propuesta consistiría en usar KoalaBots Mini como ayuda o asistencia para buscar aparcamiento en grandes superficies, sobre todo en épocas de alta actividad, donde resulta estresante encontrar un sitio cercano para estacionar nuestro vehículo. En la figura 10.4 se ilustra una representación conceptual de la aplicación propuesta. La idea consiste en que el KoalaBot Mini ascienda en caso de haber en su periferia algún aparcamiento libre. Una vez situado en la posición superior, se indicaría la disponibilidad de aparcamientos cercanos, especificando la cifra exacta de plazas sin ocupar para que los conductores puedan visualizarlo fácilmente desde cualquier punto del parking.

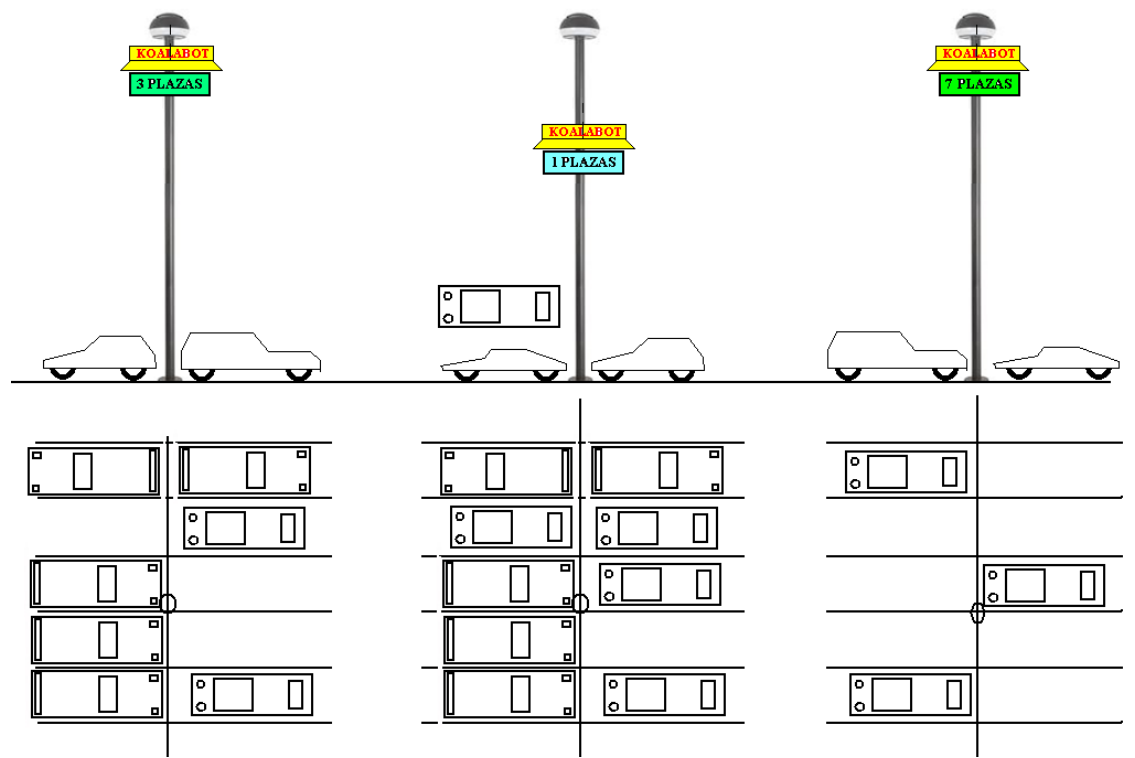
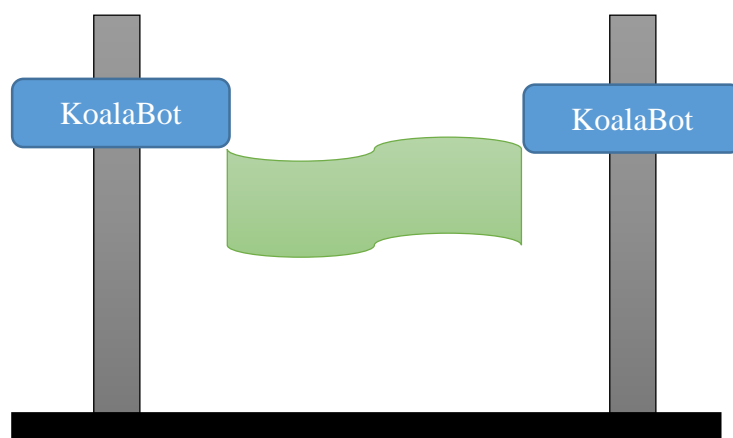


Figura 10.4. Aplicación de KoalaBot como asistencia de aparcamiento

### 10.5. Interacción entre KoalaBot

En otra posible aplicación, se podría plantear la posibilidad de que dos o más KoalaBot puedan subir al mismo tiempo por el mismo poste, dotando a los mismos de sensores para evitar su choque. También se podría diseñar la capacidad de que uno repitiese los movimientos que realizase el otro. Otra ampliación podría pasar por la interacción entre varios KoalaBot Mini situados en diferentes postes.

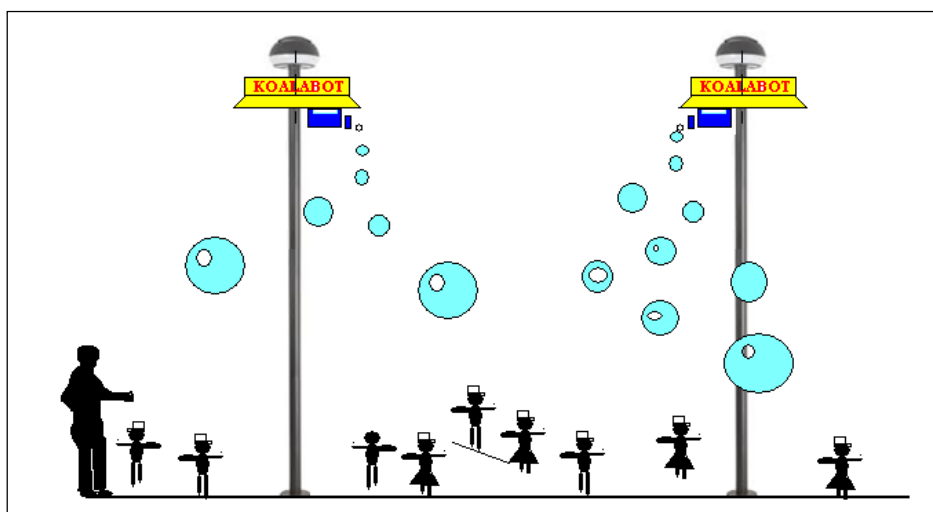
A modo de ejemplo, una de las tareas que se podrían llevar a cabo mediante la interacción de dos KoalaBot, sería la colocación de carteles o pancartas entre dos postes (figura 10.5). Dicha aplicación podría utilizarse en diversos eventos, encuentros, ferias o cualquier espacio abierto con masificación de personas.



*Figura 10.5. Colocación de carteles con dos prototipos.*

### ***10.6. Aplicaciones lúdicas***

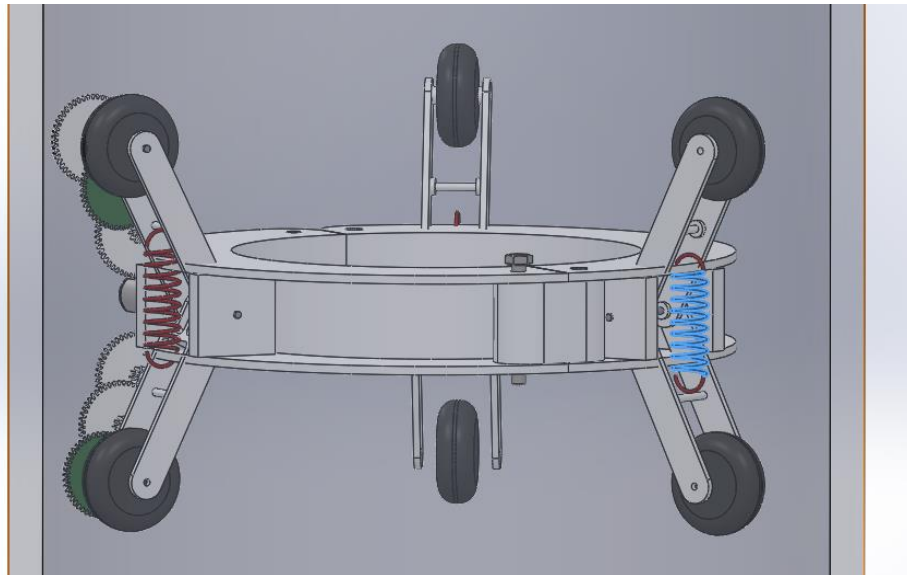
Otra posible aplicabilidad del KoalaBot Mini pasa por emplearlo como dispositivo destinado a aplicaciones lúdicas. Para ello se plantea la posibilidad de incorporar luces de colores, un dispositivo que expulse pompas de jabón (como en la figura 10.6) o también de sistema de altavoces para fiestas.



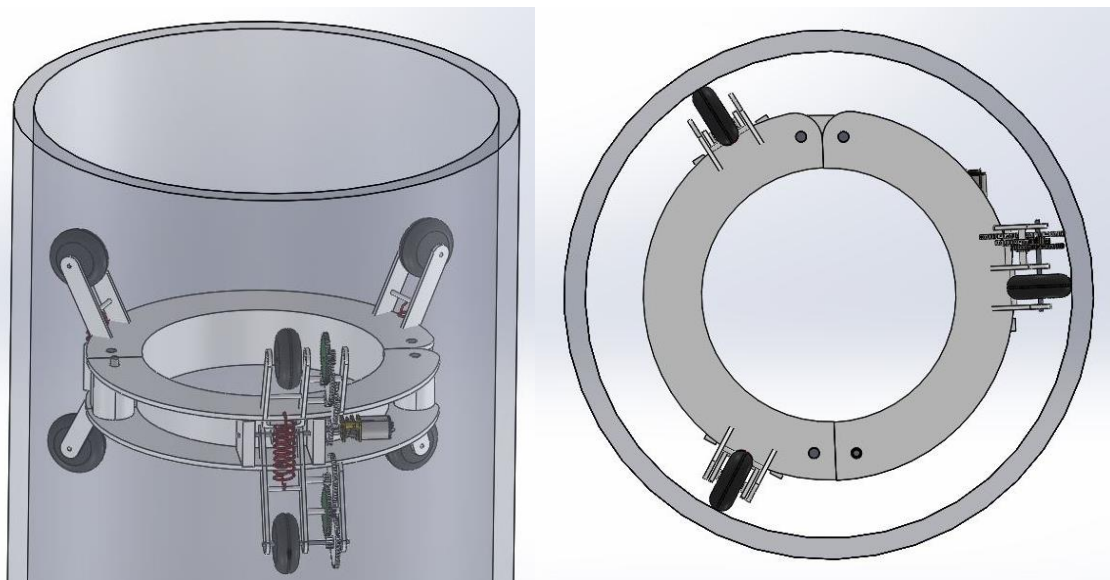
*Figura 10.6. Pompas de jabón.*

### ***10.7. Mantenimiento de tuberías***

Otro desarrollo futuro con grandes expectativas consistiría en un diseño alternativo del KoalaBot, que partiría de la alternativa del resorte a tracción descrita en el apartado Resorte a tracción. Se ha planteado la idea de que el mismo prototipo que puede ascender por la pared exterior de un tubo, lo pueda hacer también por la interna cambiando simplemente la disposición de los brazos. Esta nueva vertiente abre un nuevo campo de posibilidades y nuevas aplicaciones, tales como el desarrollo de tareas de inspección o mantenimiento en tuberías. La posibilidad de que esta aplicación pueda ser desarrollada por un KoalaBot, evitaría que un operario tenga que desarrollar esta tarea en zonas de difícil acceso o en ambientes tóxicos, lo cual puede poner en compromiso su seguridad e integridad personal. En la figura 10.7 y 10.8 se puede observar un diseño conceptual de la idea propuesta.



*Figura 10.7. Interior de tubos 1*



*Figura 10.8. Interior de tubos 2*

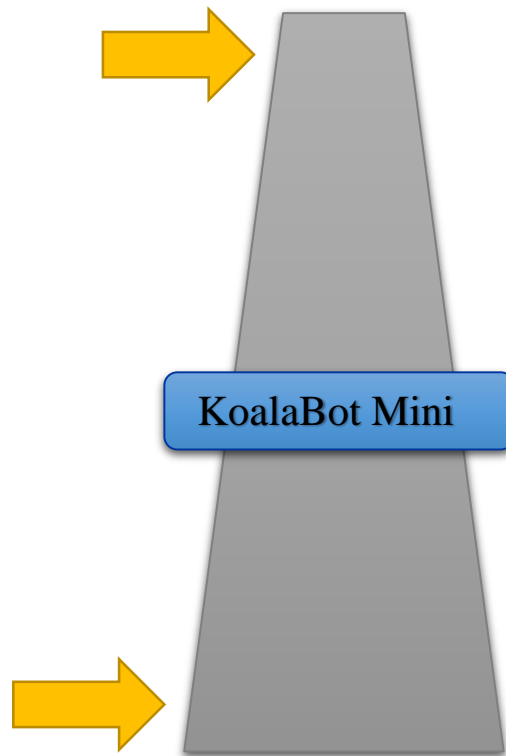
### **10.8. Postes troncocónicos**

Uno de los posibles desarrollos de cara a un nuevo prototipo del KoalaBot sobreescalado pasaría por ejercer no solo un control sobre el ascenso y el descenso del prototipo o de los componentes electrónicos que lo componen. Una aplicación con mucho potencial pasaría por ejercer un control adicional sobre los mecanismos tensores, de manera que la fuerza ejercida por el muelle y transmitida a las ruedas pueda ser regulada de manera automatizada mediante un servomotor. Esto permitiría al KoalaBot ascender fácilmente por postes cilíndricos de sección variable (figura 10.9).

Realmente el diseño actual del KoalaBot permitiría llevar a cabo esta aplicación, pero para ello el usuario debería regular manualmente la tensión de los muelles para el mínimo diámetro del poste troncocónico que se pretende ascender. Ajustándolo para el mínimo diámetro, se asegura que la tensión para los diámetros mayores será más que suficiente para sustentarse y funcionar

correctamente. Sin embargo esta medida haría que, cuando el KoalaBot llegara a zonas donde el diámetro sería mayor que el diámetro para el que han sido ajustados los muelles inicialmente, la presión sobre las ruedas y la resistencia a la rodadura se incrementaría más de lo estrictamente necesario, con el consiguiente aumento de potencia requerida por el motor para salvar dichas condiciones.

La posibilidad de automatizar la regulación de la fuerza del muelle in situ en función del diámetro cambiante del poste troncocónico a medida que el KoalaBot se encuentra en marcha evitaría el gasto energético mencionado, dando como resultado un prototipo mucho más eficiente.



*Figura 10.9. Esquema de aplicación de KoalaBot para postes troncoconicos*

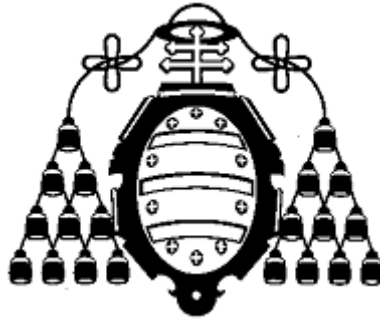
## 11. BIBLIOGRAFÍA

### 11.1. Proyectos referenciados:

- [1] J. R. Alonso González. *Robot escalador para trabajos de mantenimiento en farolas y cuerpos cilíndricos en general*. Universidad de Oviedo. 2008.
- [2] Francisco J. Álvarez González. *Plataforma robótica para ascenso a postes y captación de datos con control remoto inalámbrico*. Universidad de Oviedo. 2010.
- [3] Fernando Pérez Fonseca. *Diseño de prototipo de manipulador para robot Escalador de postes*. Universidad de Oviedo. 2012.
- [4] Rafael I. Suárez Vázquez. *Implementacion de accesorio para colocacion de carteles publicitarios para plataforma de acceso a postes ("KoalaBot")*. Universidad de Oviedo. 2013.

### 11.2. Libros y páginas web consultadas

- [5] J. L. Cortizo Rodríguez, J. E. Fernández Rico, M.R. Fernández Rodríguez. *Elementos de Máquinas. Teoría y Problemas* Ediuno. España, 2010.
- [6] T. L. Floyd. *Electronic Devices* (6ª ed.). Pearson Education, New Delhi, 2005.
- [7] D. G. Alciatore y M. B. Histan. *Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición* (3ª ed.). McGraw Hill, New México, 2008.
- [8] RS Online. Suministros industriales. Sitio Web, <http://es.rs-online.com/web/> Fecha: 9/3/15
- [9] Grupo Electroson Galicia, España. Componentes electrónicos, automatización. Sitio Web, <http://www.electroson.com/> Fecha: 17/3/15
- [10] TME Electronic Components. Sitio Web, <http://www.tme.eu/es/> Fecha: 14/4/15
- [11] Pololu. Robotics & Electronics, USA. Sitio Web, <https://www.pololu.com/> Fecha:15/3/15
- [12] Nodna. Europas größtes Sortiment für Robotik, Germany. Sitio Web, <http://nodna.de/> Fecha: 24/3/15



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO**

# **MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DOCUMENTO II: ANEXOS**

## **DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VÍA BLUETOOTH**

**JULIO 2015**

**Alexandra Borja Gonzalo**

**José Manuel Sierra Velasco**

**Juan Díaz González**

## ÍNDICE GENERAL

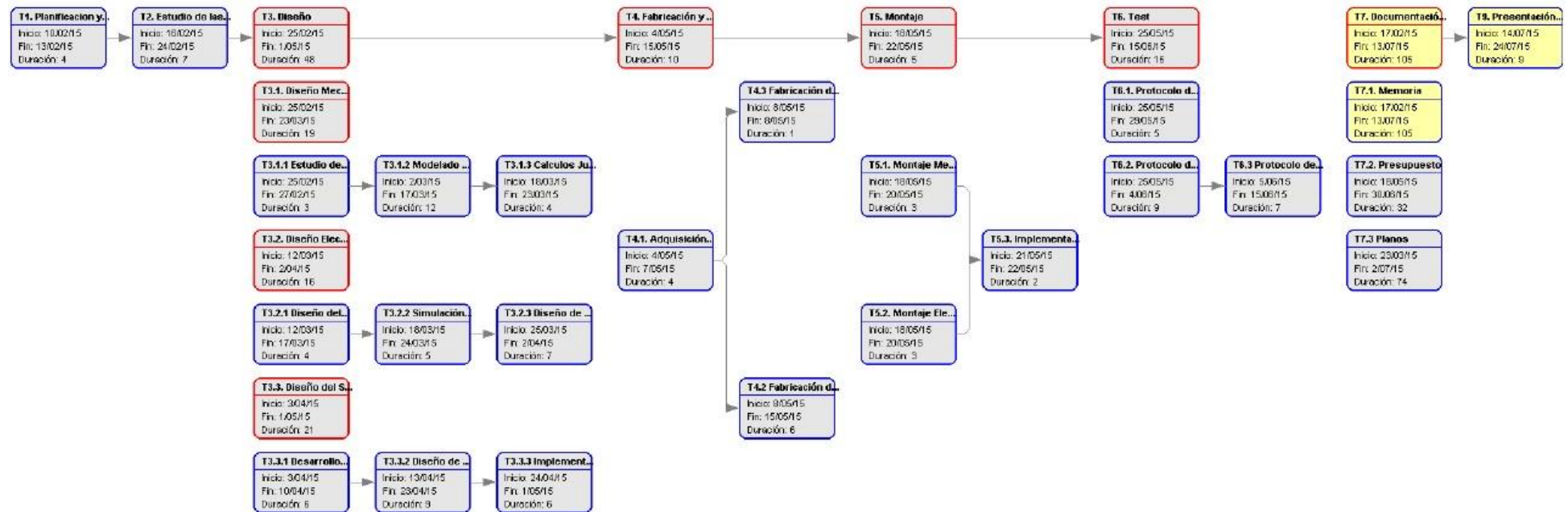
<b>1.</b>	<b>ANEXOS I – PLANIFICACION .....</b>	<b>3</b>
1.1.	DIAGRAMA PERT .....	4
1.2.	DIAGRAMA DE GANTT .....	5
<b>2.</b>	<b>ANEXOS II – MATERIALES .....</b>	<b>7</b>
2.1.	RESINA PLÁSTICA VEROWHITEPLUS .....	7
2.2.	FILAMENTO HDGLASS PLA .....	11
2.3.	ALUMINIO 6082 .....	13
2.4.	ACERO AISI 304 .....	14
<b>3.</b>	<b>ANEXO III – COMPONENTES COMERCIALES.....</b>	<b>15</b>
3.1.	MOTOR DC.....	15
3.2.	BATERÍA RECARGABLE .....	17
3.3.	ACOPLAMIENTO MOTOR .....	18
3.4.	CARCASA MOTOR.....	20
3.5.	RUEDAS .....	22
3.6.	MUELLE A COMPRESIÓN .....	24
3.7.	COMPONENTES ELECTRÓNICOS .....	25
<b>4.</b>	<b>ANEXO IV - SECUENCIA DE MONTAJE.....</b>	<b>26</b>
<b>5.</b>	<b>ANEXOS V - DIAGRAMAS .....</b>	<b>44</b>
5.1.	DIAGRAMA DE BLOQUES – DISEÑO ELECTRÓNICO (PCB) .....	44
5.2.	DIAGRAMAS DE FLUJO – DISEÑO DE SOFTWARE (MICROCONTROLADOR) .....	45
5.3.	STATECHART – DISEÑO DE SOFTWARE (APP CONTROL REMOTO) .....	46
<b>6.</b>	<b>ANEXO VI – CODIGO DE PROGRAMACION.....</b>	<b>48</b>
6.1.	MICROCONTROLADOR .....	48
6.2.	APP DE CONTROL REMOTO.....	59
6.2.1.	<i>Pantalla de Inicio.....</i>	<i>59</i>
6.2.2.	<i>Menu principal.....</i>	<i>60</i>
6.2.3.	<i>Modo Manual.....</i>	<i>61</i>
6.2.4.	<i>Modo Automatico.....</i>	<i>66</i>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS VII – CALCULOS PROGRAMACION.....</b>	<b>75</b>
7.1.	CALCULOS DEL REGISTRO TEMPORIZADOR TIMER1 .....	75
7.2.	CALCULOS PARA LA GENERACIÓN DE LA SEÑAL PWM.....	75
7.3.	CALCULO DEL PORCENTAJE DE ERROR DE BAUDIOS .....	76



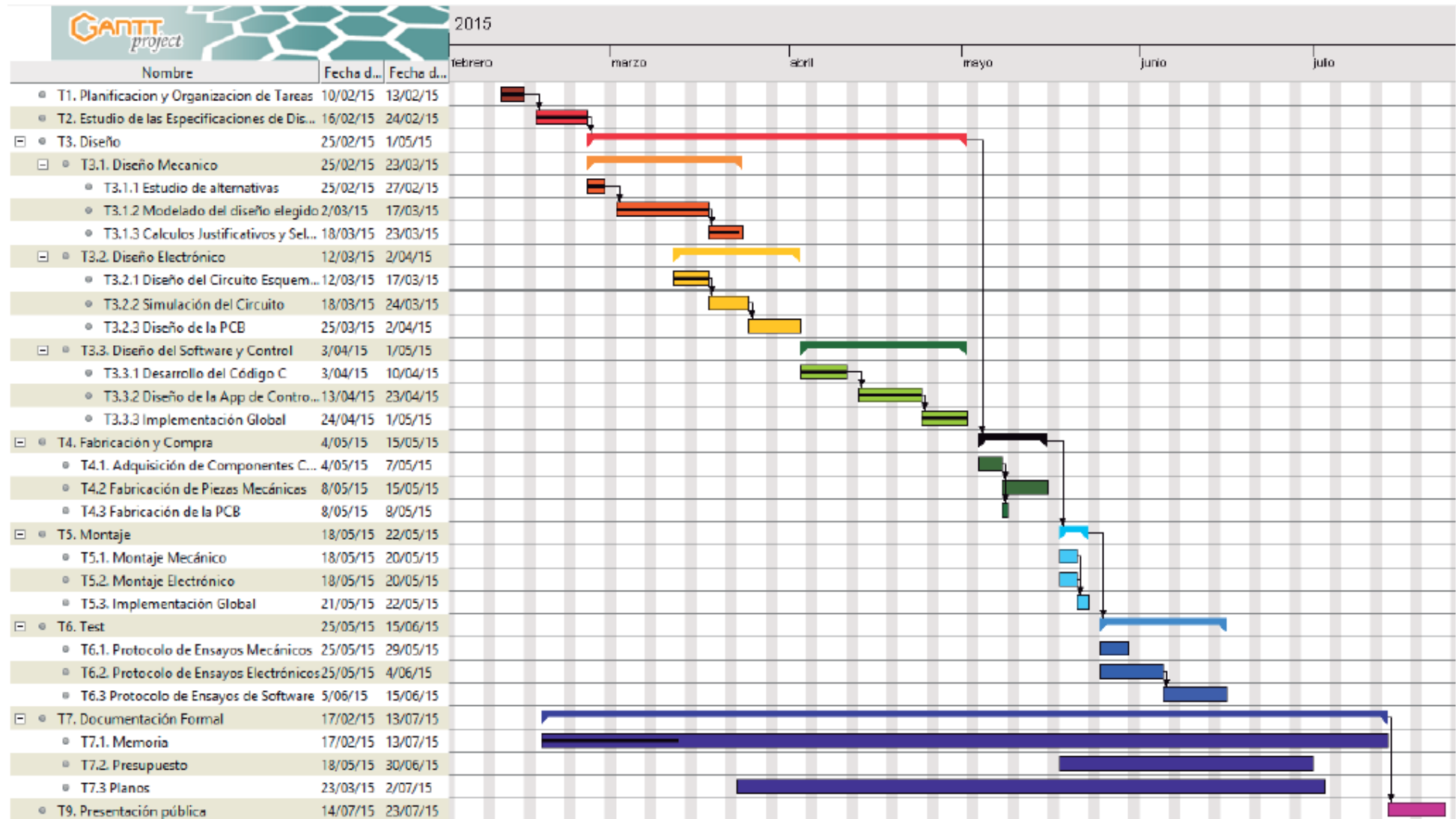
## **1. ANEXOS I – PLANIFICACION**

En el presente capítulo de anexos se adjuntan los diagramas necesarios para una mejor comprensión de la planificación y organización llevada a cabo para la realización del presente proyecto. Se adjunta un diagrama Pert y un diagrama de Gantt completo con todas las tareas realizadas durante el transcurso del proyecto, visualizándose en el mismo el desarrollo temporal de cada una de ellas.

## 1.1. Diagrama Pert



## 1.2. Diagrama de GANTT





## 2. ANEXOS II – MATERIALES

En este segundo capítulo de anexos se procede a la descripción detallada de las propiedades de los materiales seleccionados para la fabricación de piezas del prototipo.

### 2.1. Resina plástica VeroWhitePlus



**FullCure®** Materials

#### Support Your Application

- Choice of materials enables a wide variety of applications
- Excellent surface smoothness and fine details of the cured model
- Instant curing models ready to use
- Diversified Finishing
- Environmental Safety
- Easy to remove gel-like support material for all modeling materials



## FullCure Materials

### Support your Applications

Objet's FullCure® Materials family of proprietary acrylic-based photopolymer materials enables Objet users to create highly accurate, finely detailed 3D models and parts for a wide range of Rapid Prototyping and Rapid Manufacturing applications. Based on Objet PolyJet™ Technology, FullCure materials produce fully cured models that can be handled immediately after being built. The wide variety of materials within the FullCure materials family, including transparent, colored, opaque, flexible and rigid properties, enables models that meet a wide range of fit, form, and functional requirements. FullCure Support material, used in combination with any FullCure Model material enables models with an unlimited array of complex geometries, including overhangs and undercuts. This gel-like support material, is easily removed with a water-jet or by hand. FullCure materials are environmentally safe, delivered in fully sealed 2kg or 3.6kg cartridges. In addition, Tango family materials as well as DurusWhite are also provided in 1.44kg or 3.6kg casing.

Based on PolyJet Matrix™ Technology, that is utilized on Connex family multi material 3D printers, FullCure materials are used in specific concentrations and structures to generate composite Digital Materials™ with improved mechanical and thermal properties.

FullCure model materials currently include the following families:

#### General Purpose Family

Transparent - FullCure720 General-purpose transparent material, offering excellent properties including Tensile Strength of 60 MPa, Flexural Strength of 76MPa and HDT at 0.45MPa of 48C

#### General Purpose

##### FullCure720

Property	ASTM	Metric		Imperial	
Tensile Strength	D-638-03	MPa	60	psi	8746
Modulus of Elasticity	D-638-04	MPa	2870	psi	416130
Elongation at Break	D-638-05	%	20	%	20
Flexural Strength	D-790-03	MPa	76	psi	10991
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	1718	psi	249110
Load Notched Impact	D-356-06	J/m	24	ft lb/ft	0.4
Shore Hardness	Scale D	Scale D	83	Scale D	83
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	81	Scale M	81
HDT at 0.45 MPa	D-648-06	°C	48	°F	119
HDT at 1.02 MPa	D-648-07	°C	44	°F	112
Tg	DMA, D"	°C	49	°F	120
Ash Content	NA	%	<0.03	%	<0.03
Water Absorption	D570-98 24 Hr	%	1.53	%	1.53

#### Durus

##### DurusWhite - FullCure430

Property	ASTM	Metric		Imperial	
Tensile Strength	D-638-03	MPa	21	psi	3009
Modulus of Elasticity	D-638-04	MPa	1136	psi	164601
Elongation at Break	D-638-05	%	44	%	44
Flexural Strength	D-790-03	MPa	33	psi	4814
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	1026	psi	148765
Load Notched Impact	D-356-06	J/m	64	ft lb/ft	0.83
Shore Hardness	D-2240-03	Scale D	76	Scale D	76
Rockwell Hardness	D-785-03	Scale M	97	Scale M	97
HDT at 0.45 MPa	D-648-06	°C	36	°F	96
HDT at 1.02 MPa	D-648-07	°C	33	°F	91
Tg	DMA, D"	°C	36	°F	97
Ash Content	NA	%	<0.2	%	<0.2
Water Absorption	D570-98 24 Hr	%	1.7	%	1.7

#### Durus Family

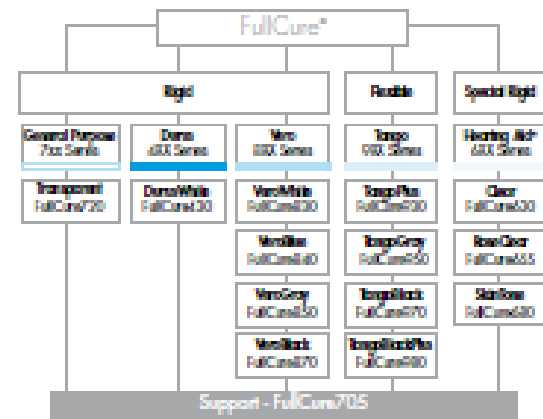
DurusWhite, FullCure430 Polypropylene-like Material addressing a broad range of applications requiring polypropylene-like appearance, flexibility, strength and toughness. Properties include Load Notched Impact of 44 J/m, Elongation at break of 44% and Flexural Modulus of 1026 MPa.

#### Vero Family

Opaque rigid materials offering toughness, dimensional stability and great detail visualization

#### Tango Family

Rubber like flexible materials with various levels of elasticity: Elongation at break of 47% and 218%, Hardness Shore scale A values of 27, 61 and 75.



\*See Objet Hearing Aid features



## Vero

### Verowhite - FullCure830

Property	ASTM	Metric		Imperial	
Tensile Strength	D-638-03	MPa	50	psi	7321
Modulus of Elasticity	D-638-04	MPa	2495	psi	35775
Elongation at Break	D-638-05	%	20	%	20
Flexural Strength	D-790-03	MPa	75	psi	10817
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2137	psi	30960
Ind Notched Impact	D-256-06	J/m	24	ft lb/in	0.45
Shore Hardness	Scale D	Scale D	83	Scale D	83
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	81	Scale M	81
HDT at 0.45 MPa	D-648-06	°C	43	°F	109
HDT at 1.83 MPa	D-648-07	°C	40	°F	104
T <sub>g</sub>	DMA, 1°	°C	58	°F	134
Ash Content	USP 28	%	±0.3	%	±0.3
Water Absorption	D570-98 24 Hr	%	1.15	%	1.15



### Veroblue - FullCure840

Property	ASTM	Metric		Imperial	
Tensile Strength	D-638-03	MPa	55	psi	7980
Modulus of Elasticity	D-638-04	MPa	2740	psi	397000
Elongation at Break	D-638-05	%	20	%	20
Flexural Strength	D-790-03	MPa	84	psi	12122
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	1980	psi	28753
Ind Notched Impact	D-256-06	J/m	24	ft lb/in	0.4
Shore Hardness	Scale D	Scale D	83	Scale D	83
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	81	Scale M	81
HDT at 0.45 MPa	D-648-06	°C	49	°F	120
HDT at 1.83 MPa	D-648-07	°C	45	°F	113
T <sub>g</sub>	DMA, 1°	°C	49	°F	120
Ash Content	USP 28	%	±0.3	%	±0.3
Water Absorption	D570-98 24 Hr	%	1.5	%	1.5



### VeroGray - FullCure850

Property	ASTM	Metric		Imperial	
Tensile Strength	D-638-03	MPa	60	psi	8700
Modulus of Elasticity	D-638-04	MPa	3000	psi	435000
Elongation at Break	D-638-05	%	15	%	15
Flexural Strength	D-790-03	MPa	95	psi	13775
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	300	psi	435000
Ind Notched Impact	D-256-06	J/m	25	ft lb/in	0.5
Shore Hardness	Scale D	Scale D	86	Scale D	86
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	49	Scale M	49
HDT at 0.45 MPa	D-648-06	°C	49	°F	120
HDT at 1.83 MPa	D-648-07	°C	47	°F	117
T <sub>g</sub>	DMA, 1°	°C	56	°F	134
Ash Content	USP 28	%	0.3	%	0.3
Water Absorption	D570-98 24 Hr	%	1.1	%	1.1



### VeroBlack - FullCure870

Property	ASTM	Metric		Imperial	
Tensile Strength	D-638-03	MPa	51	psi	7352
Modulus of Elasticity	D-638-04	MPa	2190	psi	317840
Elongation at Break	D-638-05	%	18	%	18
Flexural Strength	D-790-03	MPa	80	psi	11542
Flexural Modulus	D-790-04	MPa	2375	psi	340020
Ind Notched Impact	D-256-06	J/m	24	ft lb/in	0.45
Shore Hardness	Scale D	Scale D	83	Scale D	83
Rockwell Hardness	Scale M	Scale M	81	Scale M	81
HDT at 0.45 MPa	D-648-06	°C	47	°F	117
HDT at 1.83 MPa	D-648-07	°C	43	°F	109
T <sub>g</sub>	DMA, 1°	°C	63	°F	145
Ash Content	USP 28	%	0.005	%	0.005
Water Absorption	D570-98 24 Hr	%	1	%	1



## Tango

TangoPlus - FullCure930 / TangoBlackPlus - FullCure980

Property	ASTM	Matrix	Imperial
Tensile Strength at Break	D-412	MPa	psi
Modulus of Elasticity at 30% Strain	D-412	MPa	psi
Modulus of Elasticity at 50% Strain	D-412	MPa	psi
Elongation at Break	D-412	%	%
Compression Set	D-395	%	%
Shore A Hardness	D-2240	Scale A	Scale A
Tensile Tear Resistance	D-424	Kg/cm	lb/in
T <sub>g</sub>	DSC 180°C-180°C	°C	°F



TangoGrey - FullCure950

Property	ASTM	Matrix	Imperial
Tensile Strength	D-412	MPa	psi
Elongation at Break	D-412	%	%
Compression Set	D-395	%	%
Shore A Hardness	D-2240	Scale A	Scale A
Tensile Tear Resistance	D-424	Kg/cm	lb/in
T <sub>g</sub>	DSC 180°C-180°C	°C	°F



TangoBlack - FullCure970

Property	ASTM	Matrix	Imperial
Tensile Strength	D-412	MPa	psi
Elongation at Break	D-412	%	%
Compression Set	D-395	%	%
Shore A Hardness	D-2240	Scale A	Scale A
Tensile Tear Resistance	D-424	Kg/cm	lb/in
T <sub>g</sub>	DSC 180°C-180°C	°C	°F



## About Objet Geometries

Objet Geometries Ltd., the innovation leader in 3D printing, develops, manufactures and globally markets ultra-thin-layer, high-resolution 3-dimensional printing systems and materials that utilize PolyJet™ polymer jetting technology to print ultra-thin 16-micron layers.

The market-proven Eden™ line of 3D Printing Systems and the Alaris™30 3D desktop printer are based on Objet's patented office-friendly PolyJet™ Technology. The Connex™ family is based on Objet's PolyJet Matrix™ Technology, which jets multiple model materials simultaneously and creates composite Digital Materials™ on the fly. All Objet systems use Objet's FullCure® materials to create accurate, clean, smooth, and highly detailed 3D parts.

Objet's solutions enable manufacturers and industrial designers to reduce cost of product development and dramatically shorten time-to-market of new products. Objet systems are in use by world leaders in many industries, such as automotive, electronics, toy, consumer goods, and footwear industries in North America, Europe, Asia, Australia, and Japan.

Founded in 1998, Objet serves its growing worldwide customer base through offices in USA, Europe and Hong Kong, and a global network of distribution partners. Objet owns more than 50 patents and patent pending inventions. Visit [www.objet.com](http://www.objet.com).

**Objet Geometries Ltd.**  
Headquarters  
2 Holzman st.,  
Science Park,  
P.O. Box 2496,  
Rohovot 76124, Israel  
T: +972-8-931-4314  
F: +972-8-931-4315

**Objet Geometries Inc.**  
North America  
5 Fortune Drive  
Billerica,  
MA 01821  
USA  
T: +1-877-489-9449  
F: +1-866-676-1533

**Objet Geometries GmbH**  
Europe  
Airport Boulevard B 210  
77836 Rheinmünster  
Germany  
T: +49-7229-777720  
F: +49-7229-7772-990

**Objet Geometries AP**  
Asia Pacific  
Unit28, 10/F, HITEC  
1 Trademart Drive  
Kowloon Bay, Kowloon  
Hong Kong  
T: +852-217-40111  
F: +852-217-40555

**Objet Geometries AP**  
Limited China Rep. Office  
Rm1220, CIMC Tower,  
1090 Century Blvd,  
Pudong Shanghai  
200120 P. R. China  
T: +86-21-5836-2468  
F: +86-21-5836-2469

[info@objet.com](mailto:info@objet.com) [www.objet.com](http://www.objet.com)

© 2009 Objet, Geoties, Geotiesmap, Polyjet, FullCure, SHR, Eden, Eden30, Eden360, Eden360V, Eden330, Eden330V, Eden330M, Eden300V, Job Manager, Objet Studio, CADMatrix, Connex, Connex30, Connex300, Alaris, Alaris30, Polyjet, TangoBlack, TangoGrey, TangoPlus, TangoBlackPlus, Veridius, VeriWhite, VeriBlack, VeriGray, Dura, Digital Materials, PolyJet Matrix and ObjektGreen are trademarks of Objet Geometries Ltd. and may be registered in certain jurisdictions. All other trademarks belong to their respective owners.





## 2.2. Filamento HDGlass PLA

### Bobina de Filamento HDGlass 1.75mm Azul



HDGlass es un filamento de calidad superior. Posee una transparencia sin igual, que después de su extrusión permite pasar hasta un 90% de la luz visible y con menos de 1% de bruma.

La impresión con filamento HDGlass es muy fácil y cómoda, ya que tiene una gran estabilidad térmica y resulta excelente para la impresión de las primeras capas y capas intermedias, además el HDGlass no produce olores durante su impresión. El HDGlass es un material ideal para ahorrar, gracias a su estabilidad y a que no contiene ninguna sustancia peligrosa, ya que es libre de bisfenol A, y puede usarse para recipientes de comida.

El filamento HDGlass de FormFutura se presenta en carrete de plástico reutilizable que contiene aproximadamente 1kg de filamento premium, y recubierto por un envoltorio de sílice sellados y caja de cartón.

### **Especificaciones:**

- Filamento Peso Neto:  $\pm 1$  Kg
- Tamaño Spool (D x h): 195 mm x 85 mm
- Diámetro Spool Hub: 38 mm
- Color: Azul
- Filamento Peso Neto:  $\pm 0,75$  Kg
- Material: HDglass <sup>™</sup> (PETG agravado)
- Transparencia: Transparente
- Diámetro: 1,75 mm
- Diámetro Tolerancia:  $\pm 0,05$  mm
- Imprimir Directriz Temperatura: 215-225 ° C
- Temperatura De Fusión:
- Temperatura de transición vítrea:  $\pm 70$  ° C
- Tolerancia Ovality (máx):  $\pm 5\%$
- Densidad (21,5 ° C): 1270 kg / m<sup>3</sup>
- Imprimir Directriz Velocidad: Comparable con PLA
- Resistencia al impacto: 7.2 KJ / m<sup>2</sup>
- Módulo de Tracción: 2147.6 MPa

## 2.3. *Aluminio 6082*

### Ficha Técnica

#### ALUMINIO ALEACIÓN MAGNESIO SILICIO 6082

#### Productos

Chapas - Placas - Barras - Tubos - Perfiles – Alambre

#### Aplicaciones y usos típicos

- Moldes industria del calzado.
- Moldes de botellas de plástico por soplado.
- Moldes de termo conformados.
- Moldes industria del caucho.
- Moldes y matrices para la industria en general.
- Modelos para la fundición y placas.
- El aluminio aleación magnesio silicio 6082 es de uso general en la construcción de maquinaria industrial, armamento y blindaje.
- Automoción: vehículos industriales.
- Plantillas

#### Tratamientos Térmicos

- Puesto en solución: 535° C + - 5° C de 0,5 a 2 horas.
- Temple en agua fría (40° C máx.). Tan rápido como sea posible.
- Maduración: Estado T4, 8 días mínimo a 20° C.
- Maduración artificial: Estado T6, 16 horas a 165° C + - 5° C o 8 horas a 175° C +/- 5° C.
- Recocido: De 30 min. a 2 horas a 380° -420° C, seguido de enfriamiento lento. Trabajo en caliente: desde 300° a 490°C.

#### Aptitudes tecnológicas

- MB:** muy buena
- B:** buena
- R:** regular
- M:** mala, evitar

#### Soldadura

- A la llama..... (MB)
- Al Arco bajo gas argón..... (B)
- Por resistencia eléctrica..... (MB)
- Braseado..... (B)

#### Mecanización:

- Fragmentación de la viruta. **En estado 0:** (M) **En estado: T6** (R)
- Brillo de superficie.....**En estado 0:** (-) **En estado: T6** (MB)

#### Comportamiento Natural

- En ambiente rural..... (MB)
- En ambiente industrial..... (MB)
- En ambiente marino..... (B)
- En agua de mar..... (R)

## **2.4. Acero AISI 304**

Este es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

### **Normas involucradas:**

-ASTM A 276

### **Propiedades mecánicas:**

- Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
- Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
- Elongación 30 % (en 50mm)
- Reducción de área 40 %
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

### **Propiedades físicas:**

-Densidad 7.8 g/cm<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>)

### **Propiedades químicas:**

- 0.08 % C mín
- 2.00 % Mn
- 1.00 % Si
- 18.0 – 20.0 % Cr
- 8.0 – 10.5 % Ni
- 0.045 % P
- 0.03 % S

### **Usos:**

-Sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

### **Tratamientos térmicos:**

-Este acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente.

### 3. ANEXO III – COMPONENTES COMERCIALES

En el presente anexo se procede a la descripción detallada de las características técnicas de los componentes comerciales seleccionados para la implementación física del KoalaBot Mini.



#### 3.1. Motor DC



##### Overview

These tiny brushed DC gearmotors are intended for use at 6 V, though in general, these kinds of motors can run at voltages above and below this nominal voltage, so they should comfortably operate in the 3 – 9 V range (rotation can start at voltages as low as 0.5 V). Lower voltages might not be practical, and higher voltages could start negatively affecting the life of the motor. The micro metal gearmotors are available in a wide range of gear ratios—from 5:1 up to 1000:1—and offer a choice between three different motors: high-power (HP), medium-power (MP), and standard. With the exception of the 1000:1 gear ratio versions, all of the micro metal gearmotors have the same physical dimensions, so one version can be easily swapped for another if your design requirements change. Please see the micro metal gearmotor comparison table for detailed specifications of all our micro metal gearmotors. This dynamically-sortable table can help you find the gearmotor that offers the best blend of speed, torque, and current-draw for your particular application. A more basic comparison table is available below.

Some versions of the gearmotors are sold with an additional 1mm-diameter output shaft that protrudes from the rear of the motor. This 4.5mm-long rear shaft rotates at the same speed as the input to the gearbox and offers a way to add a custom-built encoder to provide motor speed or position feedback.

Motor Type	Stall Current@ 6 V	No-Load Speed@ 6 V	Stall Torque@ 6 V	 Gearbox Shaft Only	 Gearbox & Motor Shafts
high-power(HP)	1600 mA	6000 RPM	2 oz-in	5:1 micro HP	
		3000 RPM	4 oz-in	10:1 micro HP	10:1 micro HP
		1000 RPM	9 oz-in	30:1 micro HP	30:1 micro HP
		625 RPM	15 oz-in	50:1 micro HP	50:1 micro HP
		400 RPM	22 oz-in	75:1 micro HP	75:1 micro HP
		320 RPM	30 oz-in	100:1 micro HP	100:1 micro HP
		200 RPM	40 oz-in	150:1 micro HP	
		140 RPM	50 oz-in	210:1 micro HP	
		120 RPM	60 oz-in	250:1 micro HP	
		100 RPM	70 oz-in	298:1 micro HP	298:1 micro HP
medium-power(MP)	700 mA	32 RPM	125 oz-in	1000:1 micro HP	
		2200 RPM	3 oz-in	10:1 micro MP	
		730 RPM	8 oz-in	30:1 micro MP	
		420 RPM	13 oz-in	50:1 micro MP	
		290 RPM	17 oz-in	75:1 micro MP	
		220 RPM	19 oz-in	100:1 micro MP	
		150 RPM	24 oz-in	150:1 micro MP	
low-power	360 mA	75 RPM	46 oz-in	298:1 micro MP	
		2500 RPM	1 oz-in	5:1 micro	
		1300 RPM	2 oz-in	10:1 micro	
		440 RPM	4 oz-in	30:1 micro	30:1 micro
		250 RPM	7 oz-in	50:1 micro	50:1 micro
		170 RPM	9 oz-in	75:1 micro	
		120 RPM	12 oz-in	100:1 micro	100:1 micro

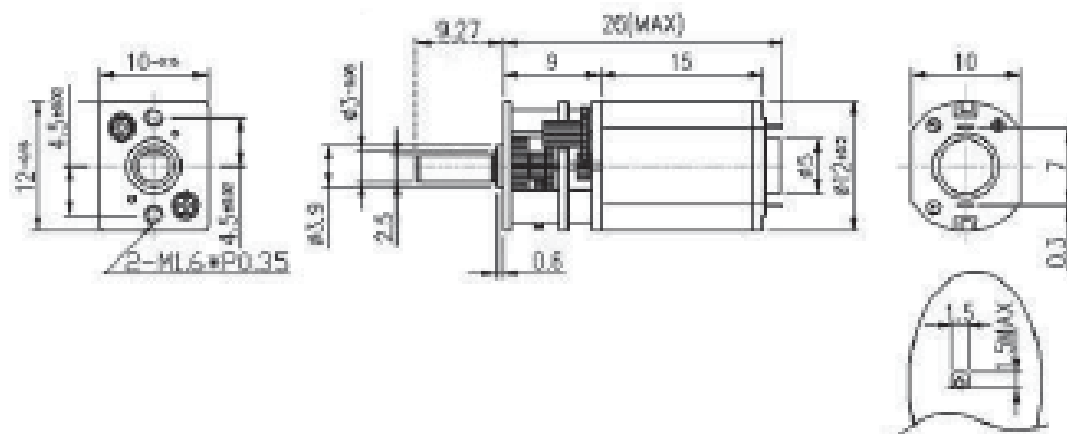
		85 RPM	17 oz-in	150:1 micro	
		60 RPM	27 oz-in	210:1 micro	
		50 RPM	32 oz-in	250:1 micro	
		45 RPM	40 oz-in	298:1 micro	298:1 micro
		14 RPM	70 oz-in	1000:1 micro	

Note: The 1000:1 gearmotors can generate enough torque to damage themselves. The stall torque values given for those two motors are theoretical, and we strongly recommend you avoid stalling them.

#### Details for item #1098

Exact gear ratio:  $(32 \times 33 \times 35 \times 38) / (15 \times 14 \times 13 \times 10) \approx (51.45:1)$

#### Gearmotor Dimensions



Micro metal gearmotor dimensions (units in mm).

The gearbox has a long (0.365" or 9.27 mm), 3 mm-diameter D-shaped metal output shaft, and the brass faceplate has two mounting holes threaded for M1.6 screws (1.6 mm diameter, 0.35 mm thread pitch). The gearmotor weighs approximately 0.35 oz (10 g). Versions with the extended motor shaft have a 1mm diameter round shaft that protrudes 4.5 mm from the rear of the motor, between the two motor terminals; this is not pictured in the above dimension diagram.

The gearbox on the 1000:1 and 1000:1 HP micro metal gearmotors is 12.5 mm long. All of the other micro metal gearmotors have 9mm-long gearboxes, as shown in the above dimension diagram.

#### Motor Accessories

- **Wheels and Hubs:** The micro metal gearmotor's output shaft matches our assortment of Pololu wheels and the Solarbotics RW2 ruer wheel. You can also use our Pololu universal mounting hubs to mount custom wheels and mechanism to the micro metal gearmotor's output shaft.

### 3.2. Batería recargable

#### Turnigy 500mAh 2S 20C Lipo Pack



Turnigy batteries are known the world over for performance, reliability and price. It's no surprise to us that Turnigy Lipoly packs are the go-to pack for those in the know. Turnigy batteries deliver the full rated capacity at a price everyone can afford.

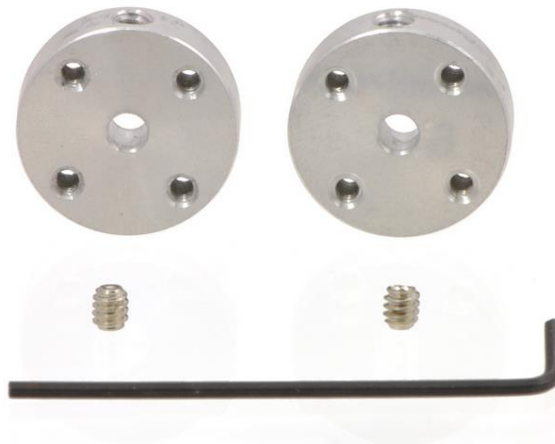
Turnigy batteries are equipped with heavy duty discharge leads to minimise resistance and sustain high current loads. Turnigy batteries stand up to the punishing extremes of aerobatic flight and RC vehicles. Each pack is equipped with gold plated connectors and JST-XH style balance connectors. All Turnigy Lipoly batteries packs are assembled using IR matched cells.

#### Specifications

- Minimum Capacity: 500 mAh
- Configuration: 2S1P / 7.4 V / 2Cell
- Constant Discharge: 20C
- Peak Discharge (10 sec): 30C
- Pack Weight: 32 g
- Pack Size: 55 x 30 x 10 mm
- Charge Plug: JST-XH

### 3.3. Acoplamiento Motor

#### Pololu Universal Aluminum Mounting Hub for 3mm Shaft

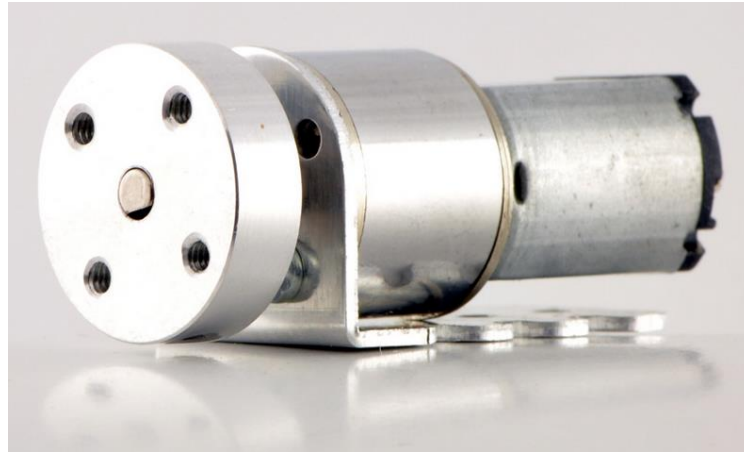


These universal aluminum mounting hubs allow you to mount custom wheels and mechanisms to 3 mm diameter motor shafts. The set includes two hubs, two #4-40 set screws for securing the hubs to motor shafts, and one 0.05" Allen wrench for use with the set screws. Each hub has four threaded mounting holes for #2-56 screws (not included)

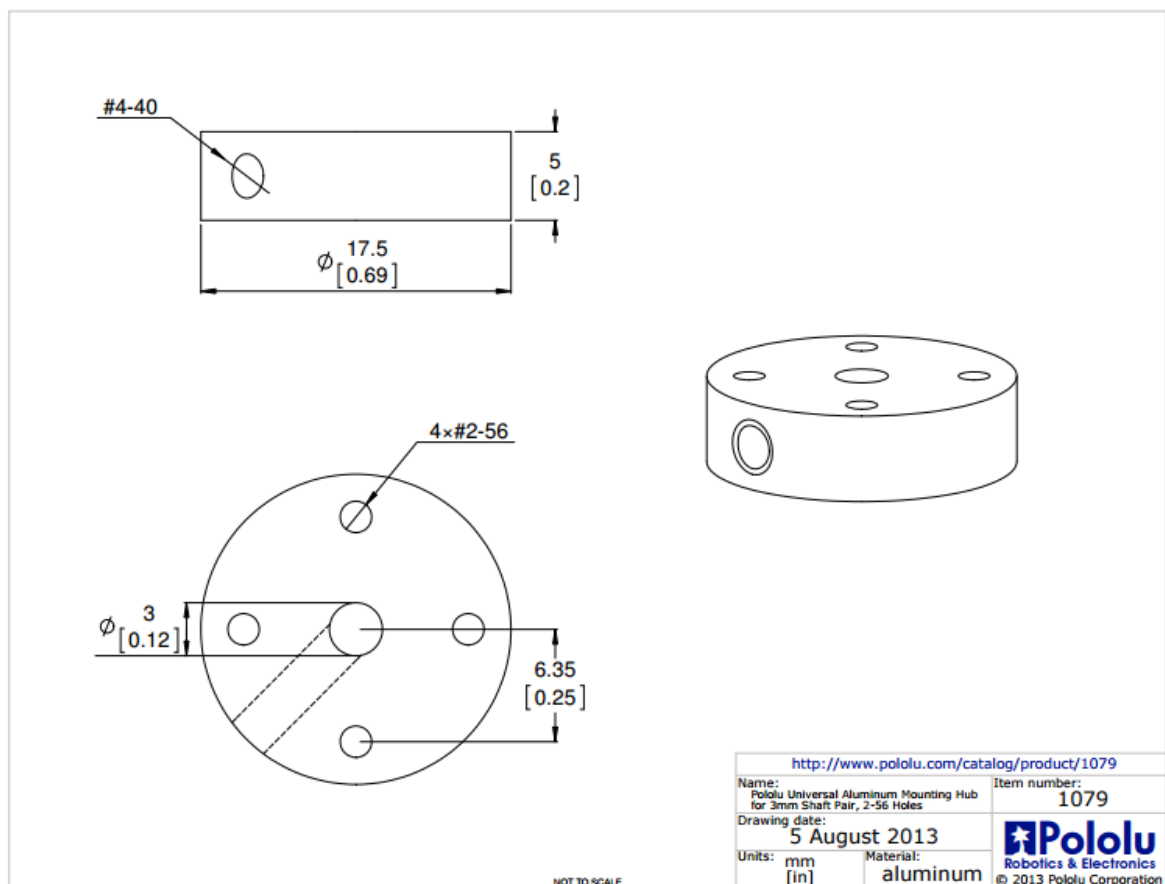
<b>Size:</b>	17.5 mm diameter × 5 mm thick
<b>Weight:</b>	2.8 g <sup>1</sup>
<b>Shaft diameter:</b>	3 mm
<b>Mounting hole size:</b>	#2-56 <sup>2</sup>

These universal mounting hubs are designed to work with most 3 mm diameter shafts, including round shafts, "D" shafts, and Tamiya's 3 mm hexagonal shafts. Each of the two included hubs has four mounting holes for #2-56 screws (not included), letting you mount custom wheels or mechanisms to your motors. The two included #4-40 hex set screws (one for each hub) allow secure coupling of shaft to hub, and a 0.05" hex wrench (often the smallest size in SAE Allen wrench sets) is included for use with the set screws. A dimension diagram of the hub is available under the resources tab.





The picture shows a hub with one of Pololu's mini metal gearmotors and a Pololu mini metal gearmotor bracket. These hubs will work with any Pololu mini/15.5D mm metal gearmotor or micro metal gearmotor, and they also work with 60 mm, 70 mm, 80 mm, and 90 mm Pololu wheels.



### 3.4. Carcasa Motor

#### Pololu Micro Metal Gearmotor Bracket Extended Pair



This compact bracket enables convenient mounting of popular, Sanyo-style micro metal gearmotors. The white plastic bracket encloses the otherwise exposed gears, and the mounting tabs capture the nuts for easy installation. This version has mounting tabs that allow for use with the Pololu Wheel 42×19 mm and encoder. The brackets are sold in pairs, and each bracket comes with two #2 screws and two nuts.

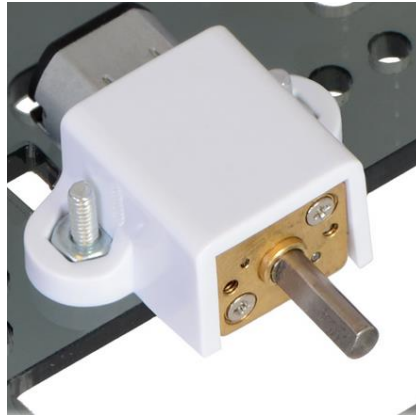
##### Dimensions

Weight: 1 g<sup>1</sup>

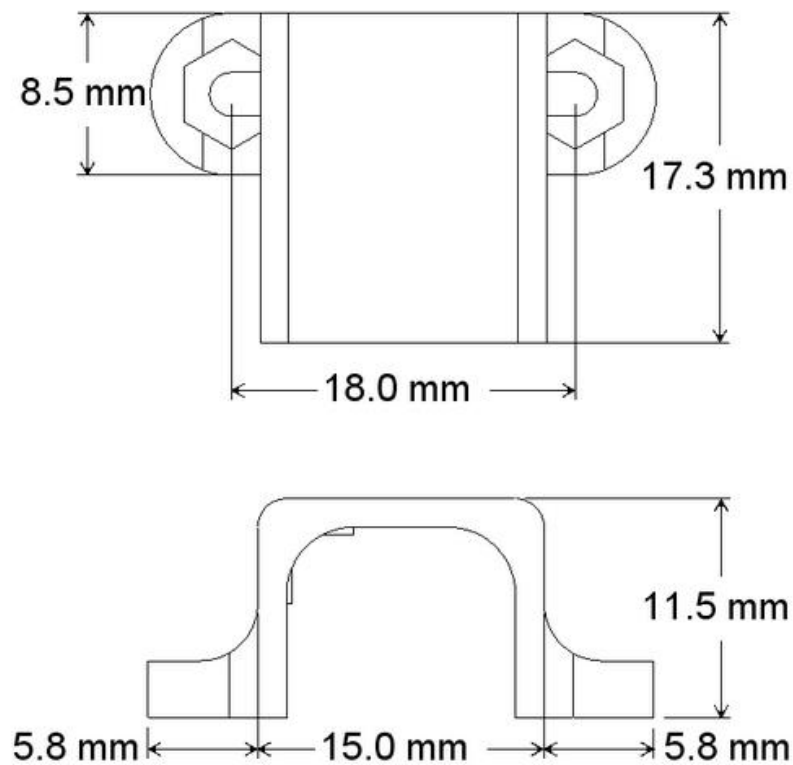
##### General specifications

Color: white

These plastic mounting brackets allow you to easily and securely mount the ubiquitous 10 mm × 12 mm × 26 mm metal gearhead motors first popularized by Sanyo's 12GN series (e.g. NA1S...NA3S), such as our micro metal gearmotors. We also offer shorter versions of these brackets in black plastic and white plastic.



This extended version of the bracket is designed to allow a portion of the motor to fit within the hub of a larger wheel, such as our Pololu Wheel 42×19mm. We also offer a quadrature encoder that works with this bracket and the 42×19mm wheel to provide feedback about wheel rotation direction and speed. The encoder can be purchased as an individual unit or as part of an encoder set that includes two encoders, a pair of extended brackets, and a pair of 42×19mm wheels—just pick the particular micro metal gearmotor that best suits your application and you have a solution for closed-loop motor control.



### 3.5. Ruedas

#### Pololu Wheel 32×7mm Pair - White



These white plastic wheels have silicone tires measuring 32 mm (1.26") in diameter and press-fit onto the 3mm D output shafts on many of our motors, including our micro metal gearmotors and our mini plastic gearmotors. These wheels are sold in pairs.

##### Dimensions

Size:	32 x 7 mm
Weight:	0.11 oz <sup>1</sup>
Shaft diameter:	3 mm <sup>2</sup>

##### General specifications

Color:	white
--------	-------

##### Motor Connections

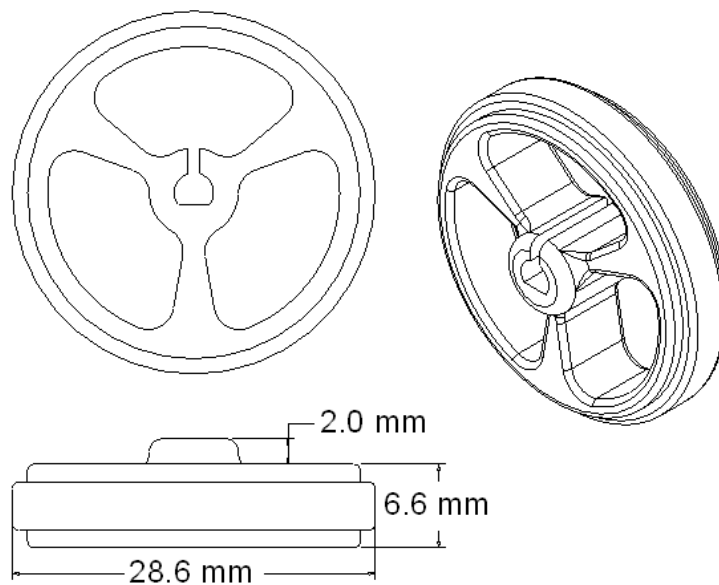
These wheels are designed to press-fit securely onto the 3mm D output shafts on many of our gearmotors, including our micro metal gearmotors and our mini plastic gearmotors. They also work with our 35:1 and 115:1 15.5D metal gearmotors. These are the same wheels that are used on the 3pi robot. They are available with white plastic hubs or black plastic hubs.



Both our micro metal gearmotor bracket and extended micro metal gearmotor bracket work with this wheel.

### Specifications

- Diameter: 1.26" (32 mm)
- Width of tire: 0.26" (6.5 mm)
- Weight: 0.11 oz (3.2 g)
- Shaft type: 3mm "D"
- Material hubs: ABS
- Material tires: Silicone

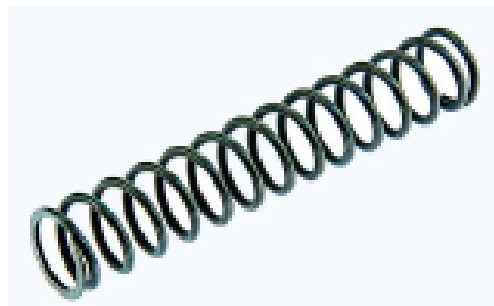


### 3.6. Muelle a compresión



**Professionally approved products.**

## Compression Springs Steel Compression Spring



[RS Stock No. 751-499](#)

**Features:**

Ends : Closed  
Material : Steel Alloy

**Dimensions:**

RS Stock No.	Free Length	Outside Diameter	Spring Rate	Minimum Working Length
751499	38.5 mm	5.63 mm	0.7N/mm	16.2 mm
751506	54 mm	6.93 mm	0.63N/mm	17.7 mm
751534	36 mm	5.8 mm	1.8N/mm	21.5 mm
751540	68 mm	8.8 mm	0.44N/mm	23.8 mm
751556	45.5 mm	10.8 mm	0.49N/mm	14.3 mm
751562	34.5 mm	6 mm	4.4N/mm	24.6 mm
751578	30.5 mm	7.3 mm	3.26N/mm	19.9 mm
751584	28.5 mm	9 mm	2.33N/mm	14.3 mm
751590	59 mm	9 mm	1.08N/mm	28.3 mm
751607	26 mm	11 mm	1.85N/mm	11.2 mm
751613	56 mm	11 mm	0.81N/mm	22.4 mm
751629	55.5 mm	13.5 mm	0.61N/mm	19.4 mm
751641	22 mm	9.25 mm	8.92N/mm	10.5 mm
751657	69 mm	9.25 mm	2.69N/mm	30 mm



### ***3.7. Componentes Electrónicos***

En este apartado se ofrece un listado de los datasheet de los componentes comerciales de carácter electrónico. Las hojas de especificaciones completas se adjuntan en la parte de la documentación del proyecto facilitada en soporte digital.

<b>Elemento</b>	<b>Fabricante</b>
Condensadores Ceramicos	Farnell
Diodo Rectificador MUR160	Diodes incorporated
Diodo Zener 3.3V	Diodes incorporated
Diodo LED	Fullwat
Encoder Magnetico 12 CPR	Pololu
Modulo Bluetooth HC-06	Arduino
PIC16F648A	Microchip
Pickit3	Microchip
Puente en H L298	ST
Pulsador Switch	E-Switch
Regulador de Tension 7805	FairChild
Transistor Bipolar NPN - BC547	OnSemiconductor

## 4. ANEXO IV - SECUENCIA DE MONTAJE

En este anexo se muestra de manera gráfica los pasos a seguir para llevar a cabo el montaje mecánico del prototipo del KoalaBot Mini de forma correcta.

### MONTAJE DE PIEZAS

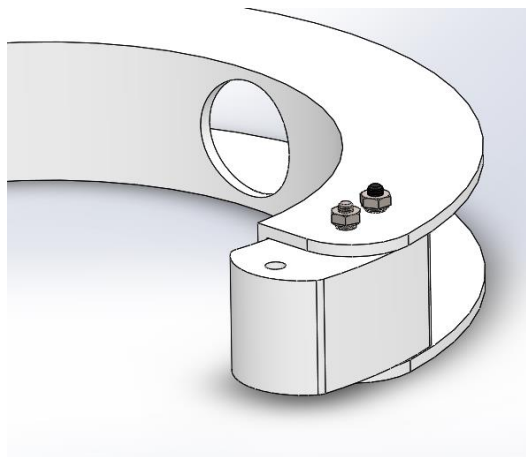
#### Conjunto Estructura Portante

##### PASO 1

Pieza 1: Chasis Izdo.

Pieza 2: Bisagra (1).

Unión: Atornillada.

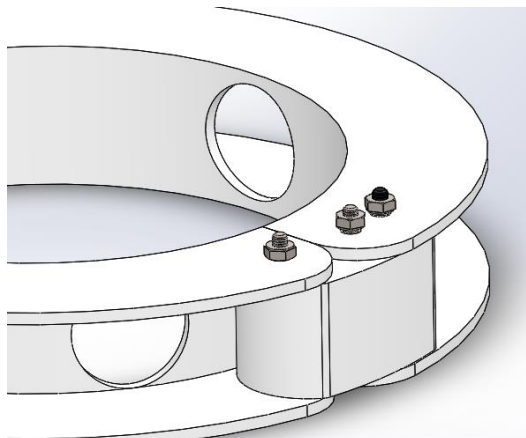


##### PASO 2

Pieza 1: Chasis Dcho.

Pieza 2: Bisagra (1).

Unión: Atornillada

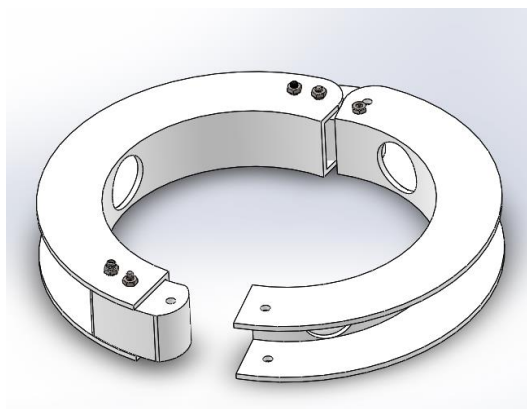


##### PASO 3

Pieza 1: Chasis Izdo.

Pieza 2: Bisagra (2).

Unión: Atornillada.



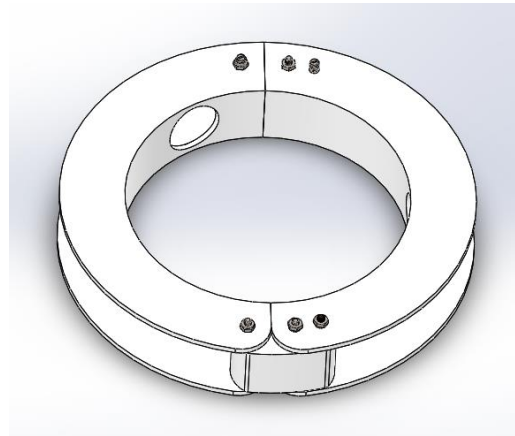


#### PASO 4

Pieza 1: Chasis Dcho.

Pieza 2: Bisagra (2).

Unión: Atornillada



## Conjunto Brazo Motriz

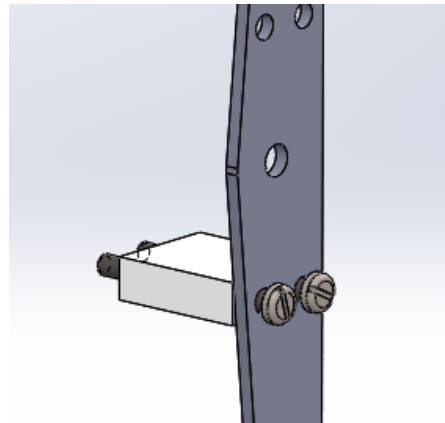
### Subconjunto Patín Motriz

#### PASO 1

Pieza 1: Puente Motriz (1).

Pieza 2: Separador Puente Motriz (1).

Unión: Atornillado.

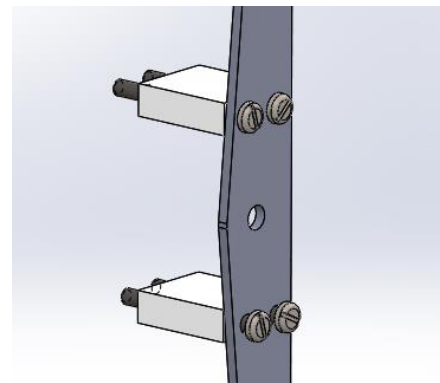


#### PASO 2

Pieza 1: Puente Motriz (1).

Pieza 2: Separador Puente Motriz (2).

Unión: Atornillado.

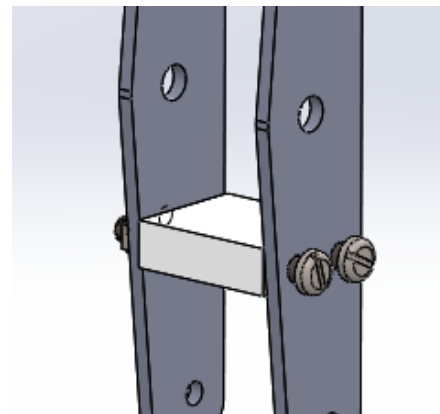


#### PASO 3

Pieza 1: Separador Puente Motriz (1).

Pieza 2: Puente Motriz (2).

Unión: Atornillada.

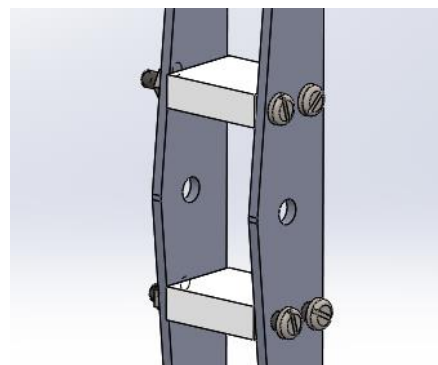


#### PASO 4

Pieza 1: Separador Puente Motriz (2).

Pieza 2: Puente Motriz (2).

Unión: Atornillada.

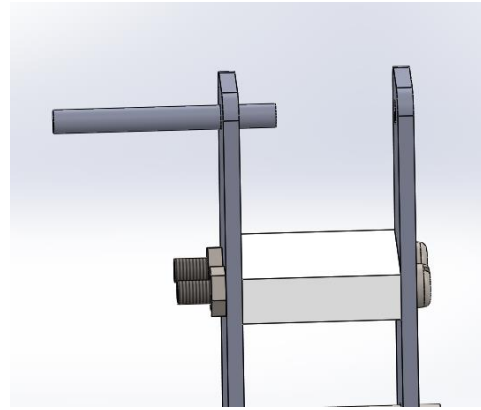


## PASO 5

Pieza 1: Puente Motriz (1).

Pieza 2: Eje Conducido (1).

Unión: Ajuste por apriete.

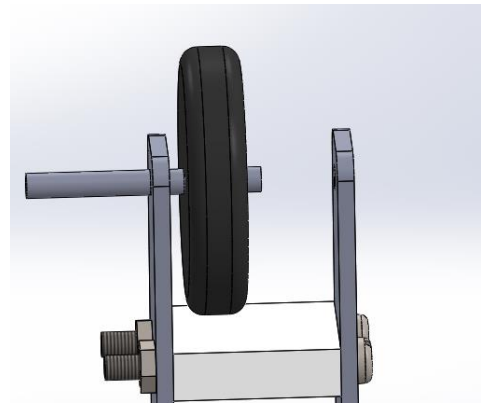


## PASO 6

Pieza 1: Eje Conducido (1).

Pieza 2: Rueda Conducida (1).

Unión: Ajuste por juego.

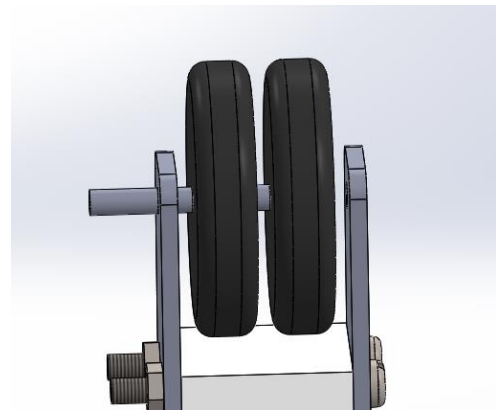


## PASO 7

Pieza 1: Eje Conducido (1).

Pieza 2: Rueda Conducida (2).

Unión: Ajuste por juego.

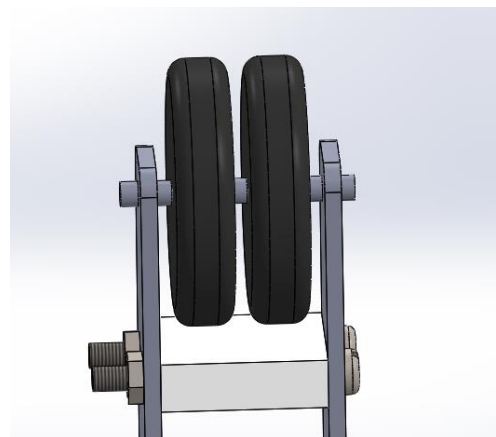


## PASO 8

Pieza 1: Puente Motriz (2).

Pieza 2: Eje Conducido (1).

Unión: Ajuste por apriete.

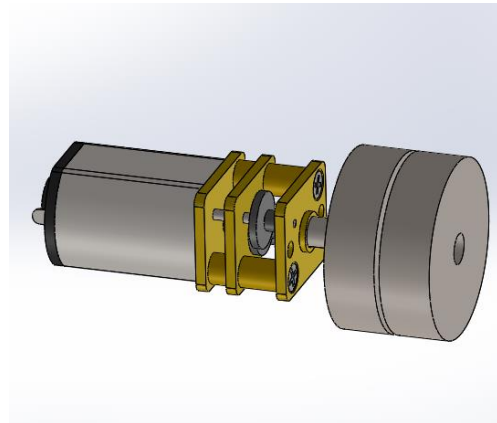


## PASO 9

Pieza 1: MicroMetal GearMotor.

Pieza 2: Acoplamiento Motor.

Unión: Ajuste y tornillo prisionero.

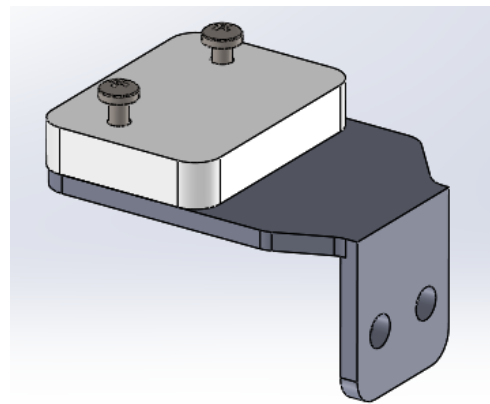


## PASO 10

Pieza 1: Soporte Motor.

Pieza 2: Placa Motor.

Unión: Atornillada.

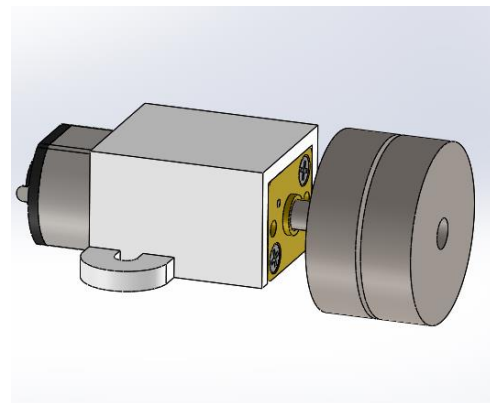


## PASO 11

Pieza 1: MicroMetal GearMotor

Pieza 2: Carcasa Motor.

Unión: Ajuste.

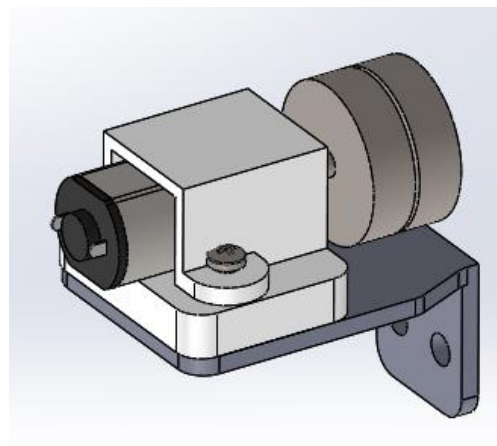


## PASO 12

Pieza 1: Carcasa Motor.

Pieza 2: Placa Motor.

Unión: Atornillado.

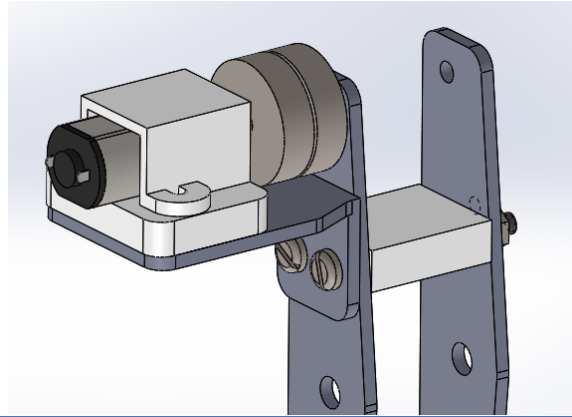


### PASO 13

Pieza 1: Soporte Motor.

Pieza 2: Puente Motriz (1).

Unión: Atornillado.

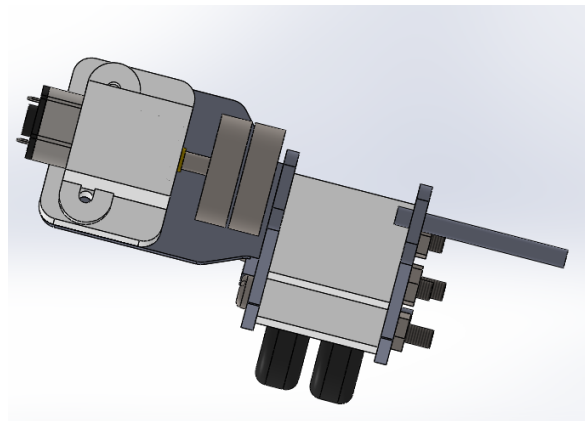


### PASO 14

Pieza 1: Eje motriz.

Pieza 2: Puente Motriz (1).

Unión: Ajuste por apriete.

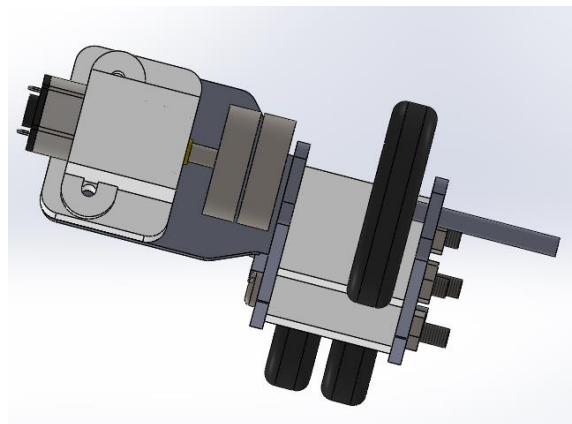


### PASO 15

Pieza 1: Soporte Motor.

Pieza 2: Puente Motriz (1).

Unión: Atornillado.

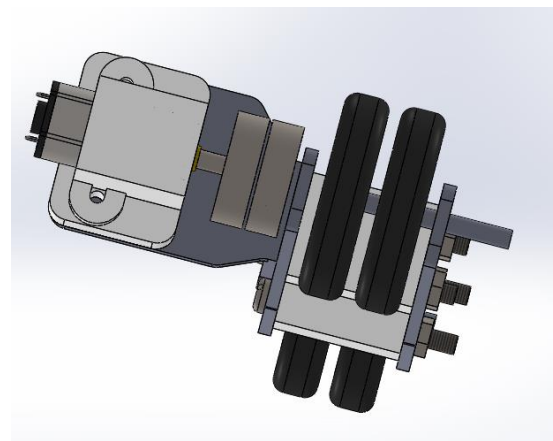


### PASO 16

Pieza 1: Eje motriz.

Pieza 2: Puente Motriz (1).

Unión: Ajuste por apriete.

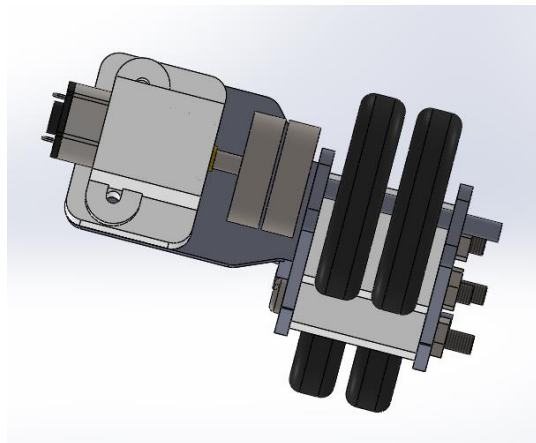


## PASO 17

Pieza 1: Eje Motriz.

Pieza 2: Puente Motriz (2).

Unión: Ajuste por apriete.

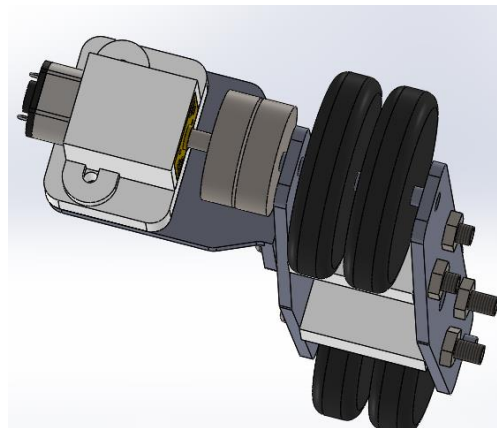


## PASO 18

Pieza 1: Eje Motriz.

Pieza 2: Acoplamiento Motor.

Unión: Ajuste y tornillo prisionero.



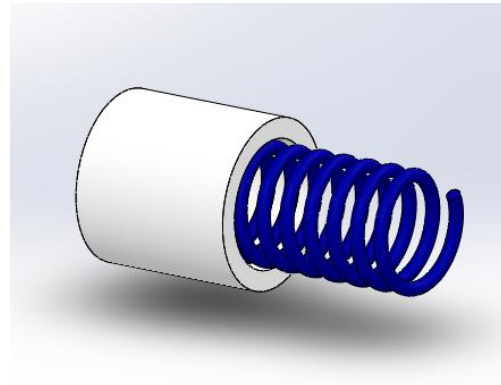
## Subconjunto Tubo Tensor

### PASO 1

Pieza 1: Tapón Muelle.

Pieza 2: Muelle a Compresión.

Unión: Ajuste por juego.

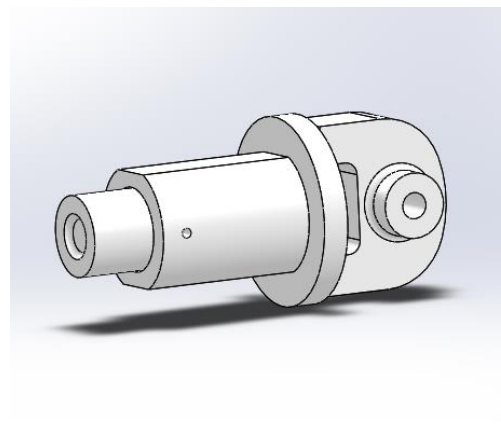


### PASO 2

Pieza 1: Tensor.

Pieza 2: Tapón Muelle.

Unión: Ajuste por juego.

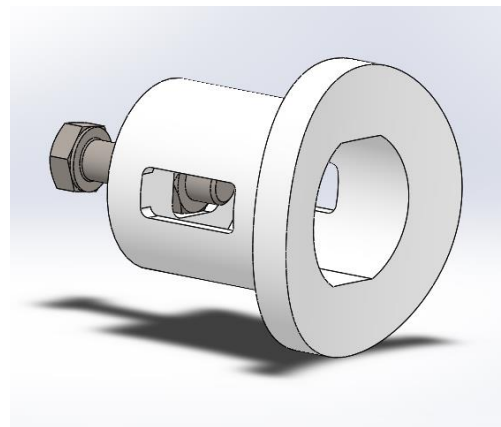


### PASO 3

Pieza 1: Alojamiento Tensor.

Pieza 2: Tuerca Alojamiento

Unión: Atornillado

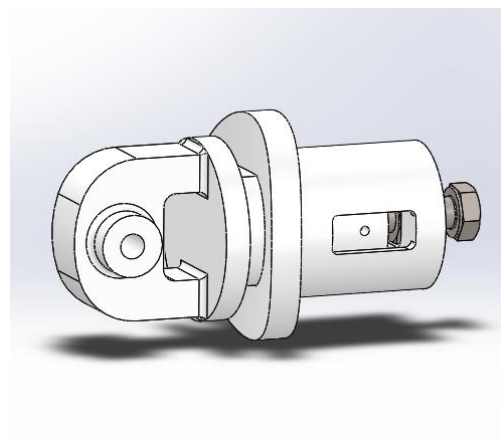


### PASO 4

Pieza 1: Tensor.

Pieza 2: Alojamiento Tensor.

Unión: Ajuste por juego.

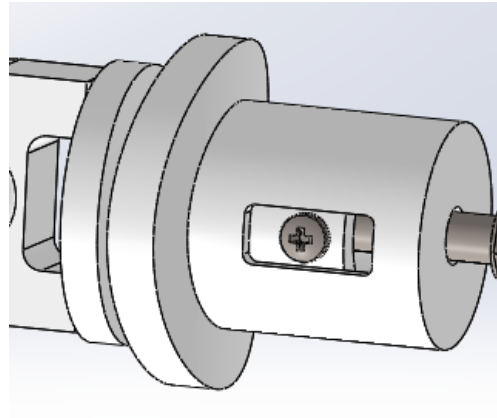


## PASO 5

Pieza 1: Tornillo Tope.

Pieza 2: Tensor.

Unión: Atornillado.





## Conjunto Brazo Conducido

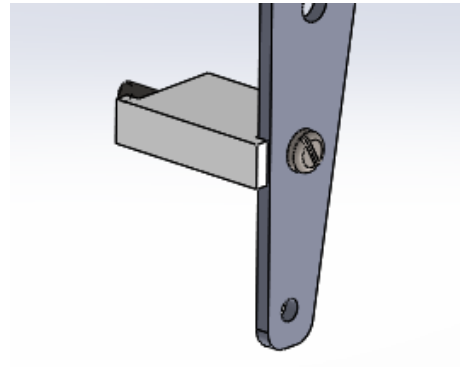
### Subconjunto Patín Conducido

#### PASO 1

Pieza 1: Puente Conducido (1).

Pieza 2: Separador Puente Conducido (1).

Unión: Atornillado.

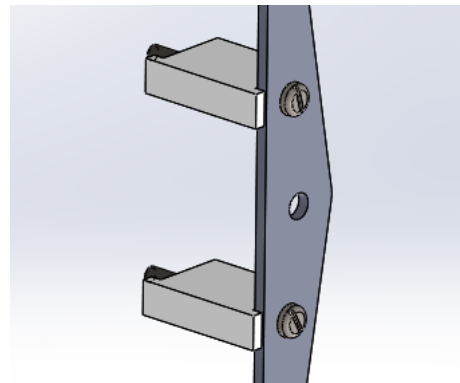


#### PASO 2

Pieza 1: Puente Conducido (1).

Pieza 2: Separador Puente Conducido (2).

Unión: Atornillado.

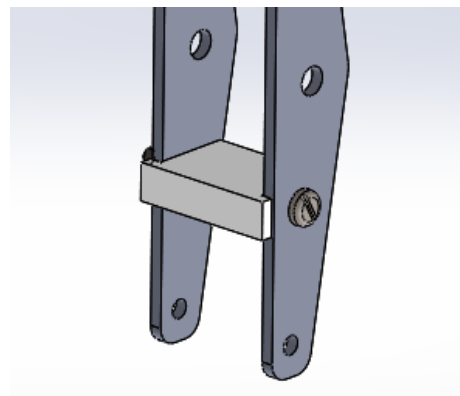


#### PASO 3

Pieza 1: Separador Puente Conducido (1).

Pieza 2: Puente Conducido (2).

Unión: Atornillada.

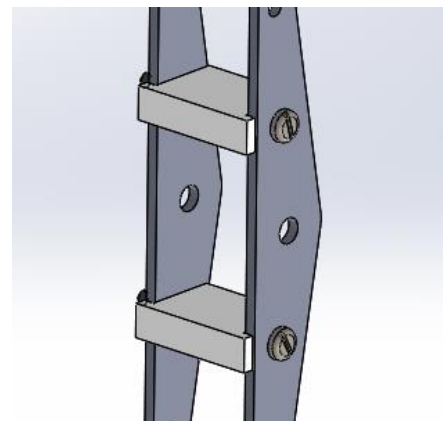


#### PASO 4

Pieza 1: Separador Puente Conducido (2).

Pieza 2: Puente Conducido (2).

Unión: Atornillada.

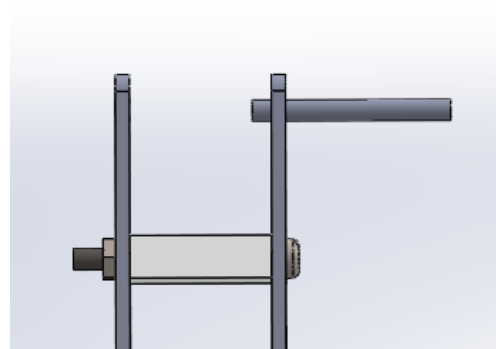


## PASO 5

Pieza 1: Puente Conducido (1).

Pieza 2: Eje Conducido (1).

Unión: Ajuste por apriete.

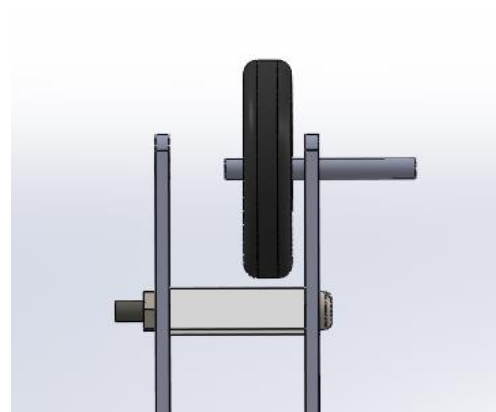


## PASO 6

Pieza 1: Eje Conducido (1).

Pieza 2: Rueda Conducida (1).

Unión: Ajuste por juego.

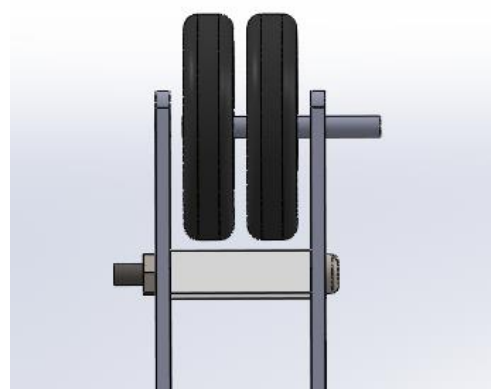


## PASO 7

Pieza 1: Eje Conducido (1).

Pieza 2: Rueda Conducida (2).

Unión: Ajuste por juego.

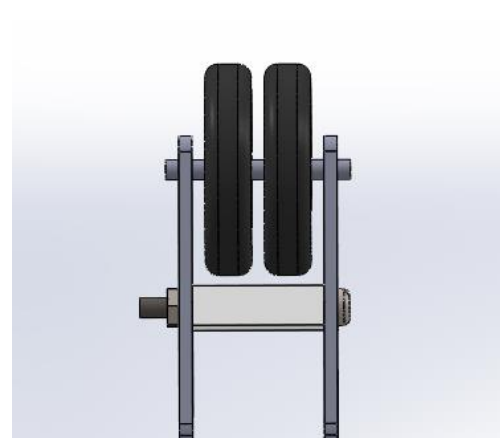


## PASO 8

Pieza 1: Puente Conducido (2).

Pieza 2: Eje Conducido (1).

Unión: Ajuste por apriete.

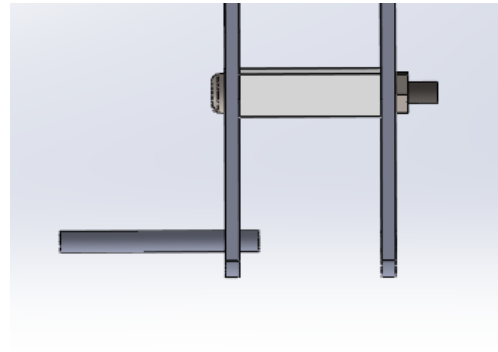


## PASO 9

Pieza 1: Puente Conducido (1).

Pieza 2: Eje Conducido (2).

Unión: Ajuste por apriete.

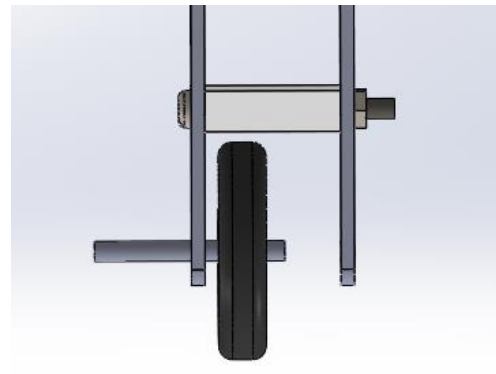


## PASO 10

Pieza 1: Eje Conducido (2).

Pieza 2: Rueda Conducida (3).

Unión: Ajuste por juego.

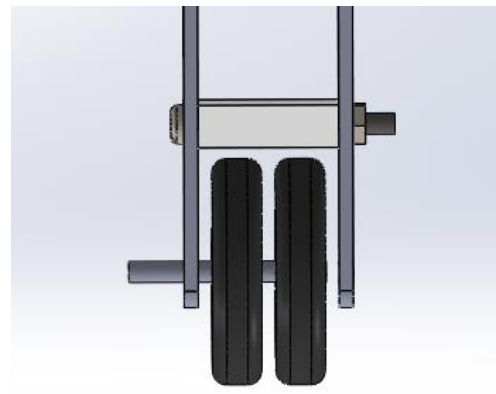


## PASO 11

Pieza 1: Eje Conducido (2).

Pieza 2: Rueda Conducida (4).

Unión: Ajuste por juego.

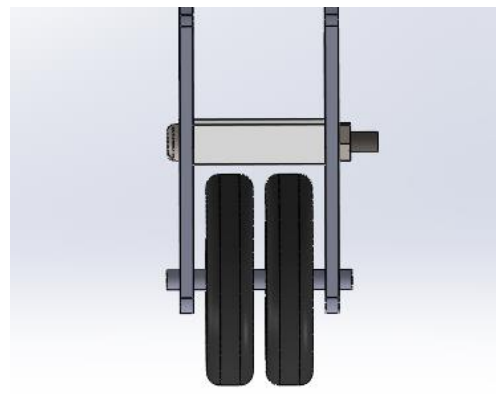


## PASO 12

Pieza 1: Puente Conducido (2).

Pieza 2: Eje Conducido (2).

Unión: Ajuste por apriete.



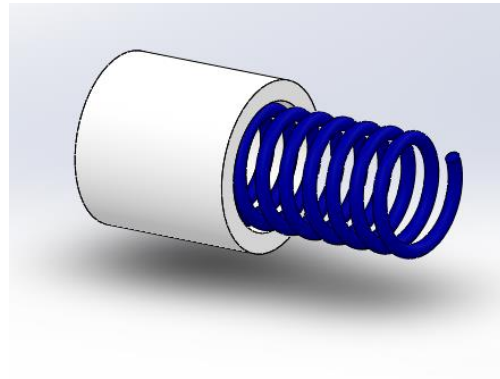
## Subconjunto Tubo Tensor

### PASO 1

Pieza 1: Tapón Muelle.

Pieza 2: Muelle a Compresión.

Unión: Ajuste por juego.

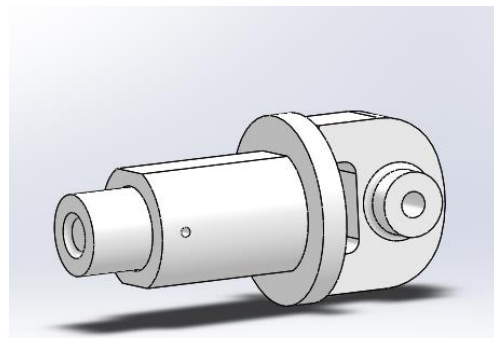


### PASO 2

Pieza 1: Tensor.

Pieza 2: Tapón Muelle.

Unión: Ajuste por juego.

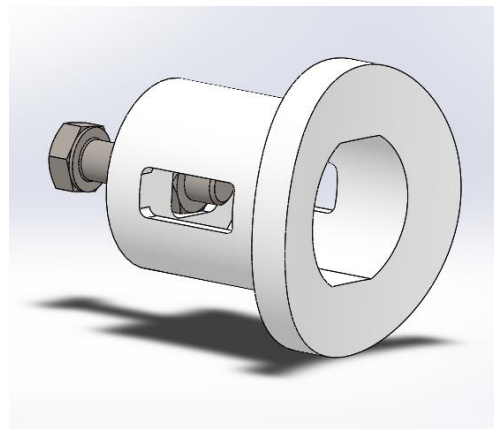


### PASO 3

Pieza 1: Alojamiento Tensor.

Pieza 2: Tuerca Alojamiento

Unión: Atornillado

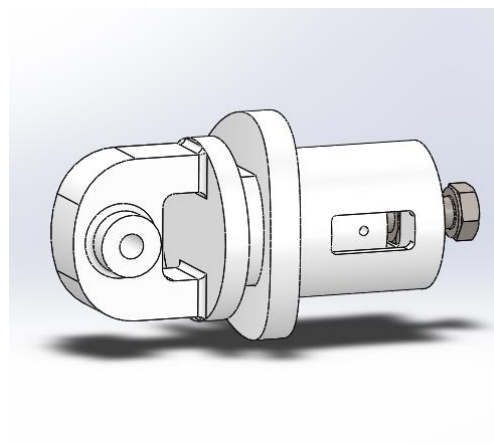


### PASO 4

Pieza 1: Tensor.

Pieza 2: Alojamiento Tensor.

Unión: Ajuste por juego.

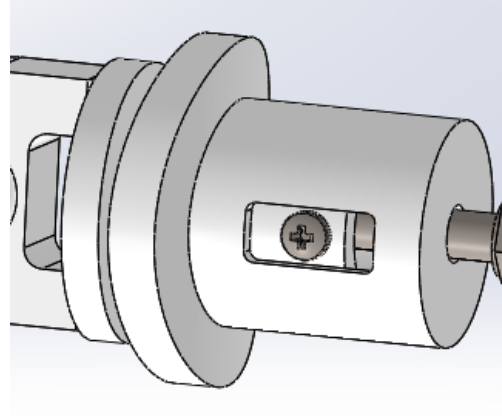


## PASO 5

Pieza 1: Tornillo Tope.

Pieza 2: Tensor.

Unión: Atornillado.



# MONTAJE DE CONJUNTOS

## Conjunto Brazo Motriz

Subconjunto Tubo Tensor

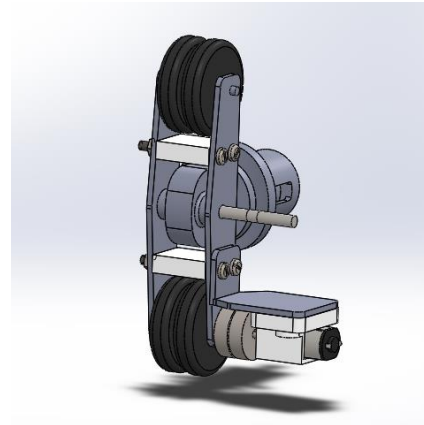
Subconjunto Patin Motriz

### PASO 1

Pieza 1: Eje Patin.

Pieza 2: Puente Motriz (1).

Unión: Ajuste por juego

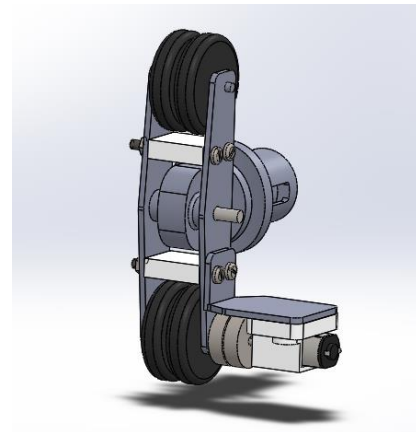


### PASO 2

Pieza 1: Tensor.

Pieza 2: Eje Patín.

Unión: Ajuste por apriete.

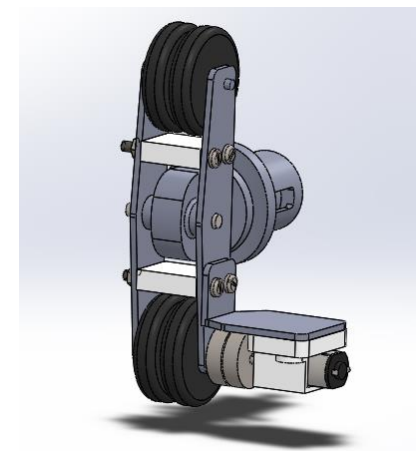


### PASO 3

Pieza 1: Eje Patín.

Pieza 2: Puente Motriz (1).

Unión: Ajuste por juego.



## Conjunto Brazo Conducido

Subconjunto Tubo Tensor

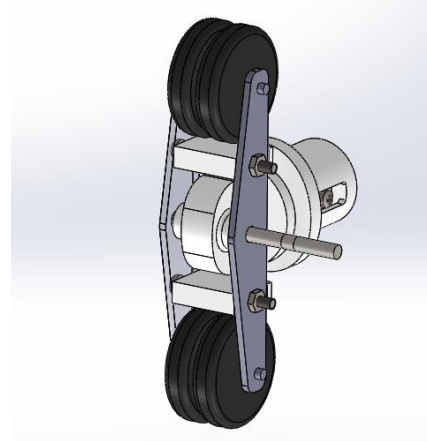
Subconjunto Patin Conducido

### PASO 1

Pieza 1: Eje Patin.

Pieza 2: Puente Conducido (1).

Unión: Ajuste por juego

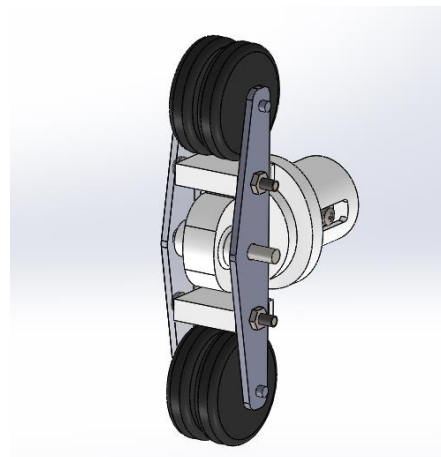


### PASO 2

Pieza 1: Tensor.

Pieza 2: Eje Patín.

Unión: Ajuste por apriete.

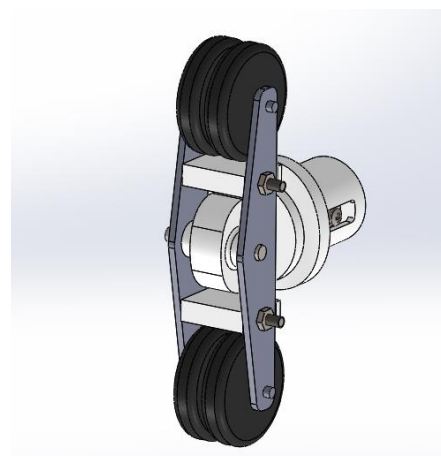


### PASO 3

Pieza 1: Eje Patín.

Pieza 2: Puente Conducido (1).

Unión: Ajuste por juego.



## Conjunto estructura portante

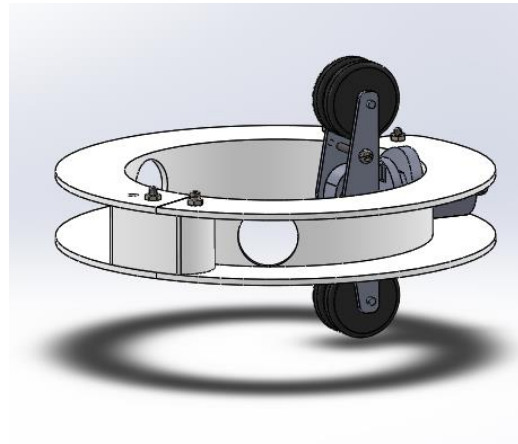
### Conjunto Brazo conducido (1)

#### PASO 1

Pieza 1: Alojamiento Tensor (1).

Pieza 2: Chasis Dcho.

Unión: Ajuste por apriete.



## Conjunto estructura portante

### Conjunto Brazo conducido

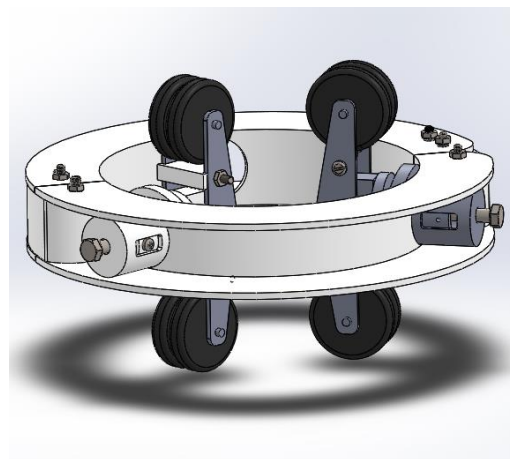
(2)

#### PASO 1

Pieza 1: Alojamiento Tensor (2).

Pieza 2: Chasis Dcho.

Unión: Ajuste por apriete.



## Conjunto estructura portante

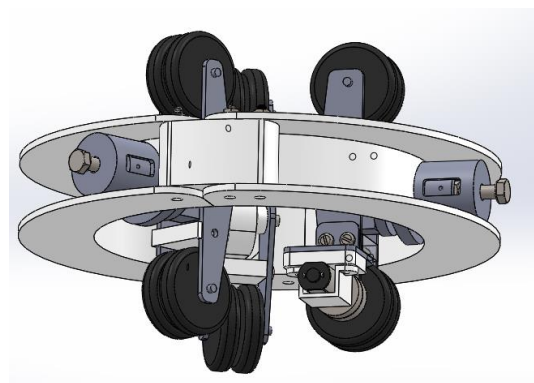
### Conjunto Brazo Motriz

#### PASO 1

Pieza 1: Alojamiento Tensor.

Pieza 2: Chasis Izdo.

Unión: Ajuste por apriete.





## Conjunto estructura portante

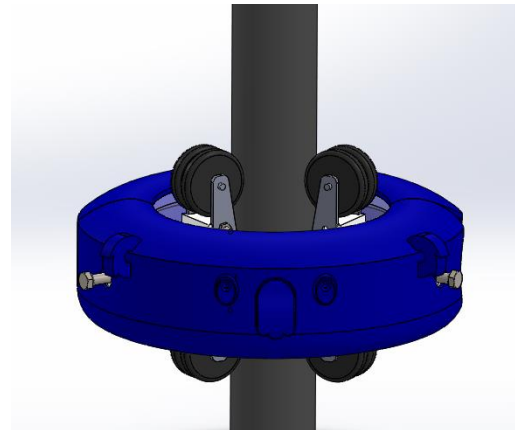
### Conjunto Carcasa

#### PASO 1

Pieza 1: Carcasa Izda.

Pieza 2: Chasis Izdo.

Unión: Ajuste y atornillada.

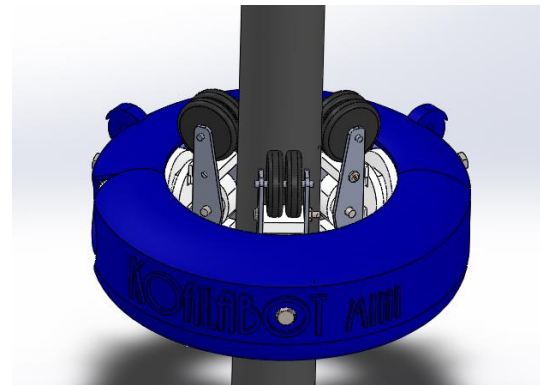


#### PASO 2

Pieza 1: Carcasa Dcha.

Pieza 2: Chasis Dcho.

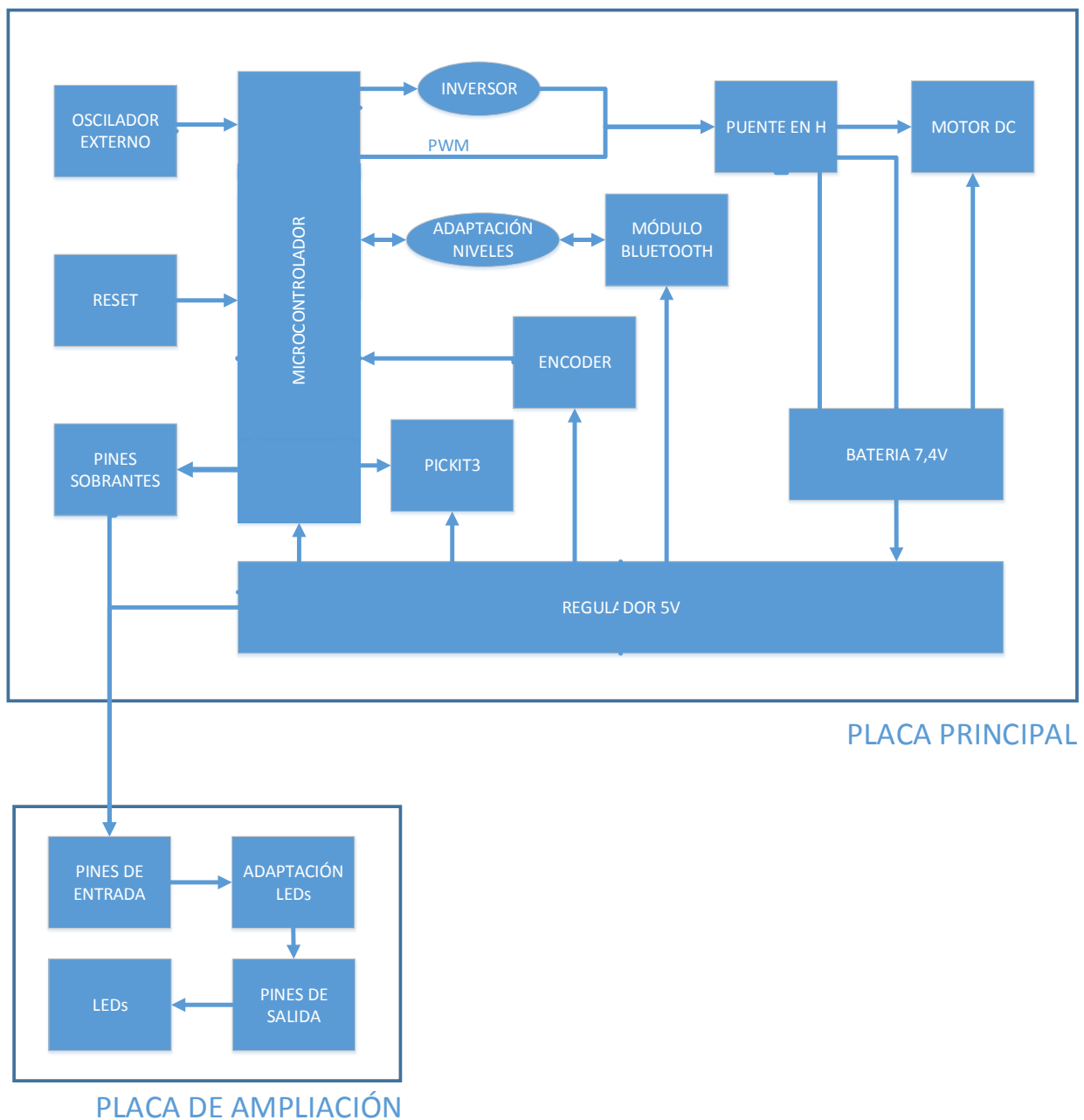
Unión: Ajuste y atornillada.



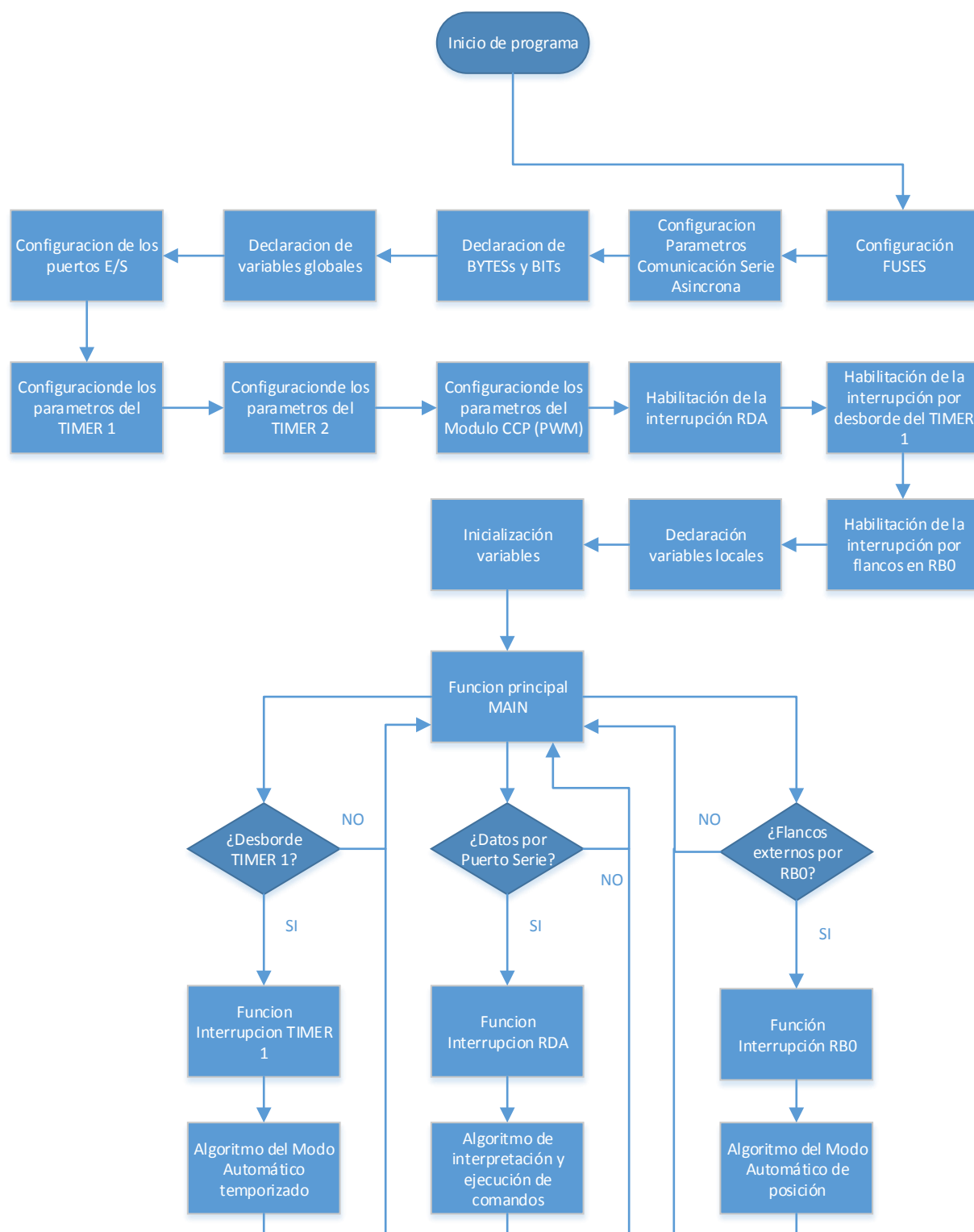
## 5. ANEXOS V - DIAGRAMAS

A continuación se adjunta un diagrama de bloques para representar la configuración del diseño electrónico completo, un diagrama de flujo para documentar gráficamente el algoritmo de control del código de programación en C del microcontrolador y un diagrama de estados (StateChart) para visualizar el conjunto de estados por los que pasa el software de la App de control remoto.

### 5.1. Diagrama de Bloques – Diseño electrónico (PCB)



## 5.2. Diagramas de Flujo – Diseño de software (Microcontrolador)



### ***5.3. StateChart – Diseño de software (App Control Remoto)***



## 6. ANEXO VI – CODIGO DE PROGRAMACION

En este anexo se adjunta el código fuente completo del software del KoalaBot Mini, incluyendo el código en lenguaje C para el control del microcontrolador y la programación por bloques llevada a cabo para el control de la app de control remoto.

### 6.1. Microcontrolador

```
////////////////////////////////////
//
//                               - Trabajo Fin de Master -
//
//          "Desarrollo de KoalaBot Mini para trabajo colaborativo
//          con capacidad de comunicacion via Bluetooth"
//
//  Diseño de Software:
//
//  Código de programación en C para Microcontrolador
//
//  Autora: Alexandra Borja Gonzalo
//
////////////////////////////////////

#include <16F648A.h> // Libreria del PIC empleado
#include <string.h> // Libreria de funciones de manejo de cadenas de caracteres y variables char
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

//FUSES XT,NOWDT,NOPROTECT,MCLR // Cristal de cuarzo, WatchDog desactivado,
//proteccion del código desactivada, pin MCLR reset
//use delay(clock=4000000) // Frecuencia del reloj de 4 MHz

// Configuración de la comunicación serie asincrónica
//use RS232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_B2,rcv=PIN_B1,bits=8,stream=PORT1)
//velocidad de transmisión 9600 baudios, bit de paridad desactivado,
//pin RB2 (Tx) como transmisor, pin RB1 (Rx) como receptor y configuración de 8 bits de datos

// Configuración de los Bytes.
// Direcciones PORT y TRIS del puerto A y B
//BYTE PORTA=0x05
//BYTE TRISA=0x85
//BYTE PORTB=0x06
//BYTE TRISB=0x86

// Configuración de los bits
//BIT SentidoGiro = PORTB.4 // Pin de salida de sentido del giro del motor (RB4)
//BIT Canal_1_Encoder = PORTB.0 // Pin de entrada del canal 1 del encoder magnético (RB0)
//BIT Canal_2_Encoder = PORTB.5 // Pin de entrada del canal 2 del encoder magnético (RB5)
//BIT TMR1ON=0x10.0 // Bit de puesta en marcha y parada de TMR1
```

```
#BIT fila_leds_1 = PORTA.0 // Bit de salida de la primera linea de control de LEDs (RA0)
#BIT fila_leds_2 = PORTA.1 // Bit de salida de la segunda linea de control de LEDs (RA1)
#BIT fila_leds_3 = PORTA.2 // Bit de salida de la tercera linea de control de LEDs (RA2)
#BIT fila_leds_4 = PORTA.3 // Bit de salida de la cuarta linea de control de LEDs (RA3)
#BIT fila_leds_5 = PORTA.4 // Bit de salida de la quinta linea de control de LEDs (RA4)

// Declaracion de variables globales
char dato;
long duty;
int recorrida;
int distancia;
int pulso;
int contador;
int MotorOn=0;
int i;
int j;
int secuencia_leds;
int dir=1;
int NCiclos=0; // variable que almacena el numero de ciclos configurados por el usuario que
// debe funcionar el KoalaBot en modo cíclico
int ModoBajar=0;
int ModoCiclico=0;

////////////////////
//
// Funcion Encoder()
//
// Funcion que se encarga de administrar las señales
// de entrada procedentes del encoder magnetico.
// Se emplea para ejecutar el Modo Automatico de posicion.
//
////////////////////

#INT_EXT
void Encoder()
{
    if (Canal_1_Encoder==1)    // Canal_1_Encoder = 1,
    {
        ext_int_edge(H_TO_L); // entonces activar la siguiente interrupción para flanco de bajada.
        if (Canal_2_Encoder==1) // Si Canal_2_Encoder = 1,
        {
            pulso++; // se suman pulsos en positivo (sentido hacia arriba)

            recorrido=pulso/6000; // conversión de pulsos a distancia recorrida.
                                // teniendo en cuenta que el radio de la rueda es de 32 mm, que la
                                // reductora del motor es de 150:1 y que el encoder genera 4 pulsos por vuelta del motor:
                                // 1 metro recorrido ---> 6000 pulsos del encoder

            if (recorrido>distancia) // si la distancia recorrida alcanza la configurada por el
            usuario
```

```

        {
            set_pwm1_duty(0); // se detiene el motor
            pulso=0;
        }
    }
}
else // Si Canal_1_Encoder = 0,
{
    ext_int_edge(L_TO_H); // entonces activar la siguiente interrupción para flanco de subida.
    if (Canal_2_Encoder==1) // Si Canal_2_Encoder = 1,
    {
        pulso--; // se suman pulsos en negativo (sentido hacia abajo)

        recorrido=pulso/6000; // conversión de pulsos a distancia recorrida.
        // teniendo en cuenta que el radio de la rueda es de 32 mm, que la
        reductora del motor es de 150:1 y que el encoder genera 4 pulsos por vuelta del motor:
        1 metro recorrido ---> 6000 pulsos del encoder

        if (recorrido<distancia) // si la distancia recorrida alcanza la configurada por el
usuario
        {
            set_pwm1_duty(0); // se detiene el motor
            pulso=0;
        }
    }
}

////////////////////
//
// Funcion Timer1_isr()
//
// Funcion que se ejecuta cada medio segundo.
// Se emplea para ejecutar el Modo Automatico temporizado.
//
////////////////////

#INT_TIMER1
void timer1_isr()
{
    set_timer1(3036); // Precarga del Timer1

    i++; // Se incrementa el contador de desbordes (uno cada 500 ms)

    if (i>5) // Cuando la temporizacion programada concluye
    {
        if(ModoCiclico==1)
        {
            j++;

```



```
        if (j==NCiclos) // Cuando la temporizacion programada concluye
        {
            set_pwm1_duty(0); // El motor se detiene
            i=0; // Se vuelve a poner a 0 el contador de desbordes
            j=0;
            TMR1ON=0;
        }
    }
    else
    {
        set_pwm1_duty(0); // El motor se detiene
        i=0; // Se vuelve a poner a 0 el contador de desbordes
        TMR1ON=0; // Se desactiva la cuenta del TIMER1
    }
}

////////////////////////////////////
//
// Funcion "Leer_Comandos"
//
// Funcion encargada de interpretar los comandos enviados
// desde la App de Control Remoto para que el microcontrolador
// ejecute las funciones deseadas
//
////////////////////////////////////

#INT_RDA
void Leer_Comandos()
{
    int tiempo;

    if ( kbhit()) // Se verifica que se ha pulsado una tecla
    {
        dato=getc(); // Se almacena el caracter de entrada en la variable de tipo char "dato"

        switch (dato) // Algoritmo de administracion de los comandos en funcion del valor
de la variable "dato"
        {
            case 'a': // Se enciende la primera linea de LEDs
                fila_leds_1=1;
                break;

            case 'b': // Se enciende la segunda linea de LEDs
                fila_leds_2=1;
                break;
            case 'c': // Se enciende la tercera linea de LEDs
                fila_leds_3=1;
                break;
```

```
case 'd': // Se enciende la cuarta linea de LEDs
    fila_leds_4=1;
break;
```

```
case 'e': // Se enciende la quinta linea de LEDs
    fila_leds_5=1;
break;
```

```
case 'f': // Se apaga la primera linea de LEDs
    fila_leds_1=0;
break;
```

```
case 'g': // Se apaga la segunda linea de LEDs
    fila_leds_2=0;
break;
```

```
case 'h': // Se apaga la tercera linea de LEDs
    fila_leds_3=0;
break;
```

```
case 'i': // Se apaga la cuarta linea de LEDs
    fila_leds_4=0;
break;
```

```
case 'j': // Se apaga la quinta linea de LEDs
    fila_leds_5=0;
break;
```

LEDs

```
case 'k': // Se ejecuta la primera secuencia de encendido y apagado de
    secuencia_leds=1;
break;
```

LEDs

```
case 'l': // Se ejecuta la segunda secuencia de encendido y apagado de
    secuencia_leds=2;
break;
```

LEDs

```
case 'm': // Se ejecuta la tercera secuencia de encendido y apagado de
    secuencia_leds=3;
break;
```

```
case 'n': // Se ejecuta la cuarta secuencia de encendido y apagado de LEDs
    secuencia_leds=4;
break;
```

```
case 'o': // Se ejecuta la quinta secuencia de encendido y apagado de LEDs
    secuencia_leds=5;
break;
```

```
case 'p': // El prototipo empieza a ascender
    SentidoGiro=1; // pin de sentido de giro a 1 (derecha)
    set_pwm1_duty(duty);
    MotorOn=1;
break;

case 'q': // El prototipo empieza a descender
    SentidoGiro=0; // pin de sentido de giro a 0 (izquierda)
    set_pwm1_duty(duty);
    MotorOn=1;
break;

case 'r': // El prototipo se detiene
    set_pwm1_duty(0);
    MotorOn=0;
    TMR1ON=0; // Se desactiva el TIMER1 para detener el prototipo
durante el modo automatico temporizado
break;

case 's': // Se configura el movimiento del prototipo a velocidad baja
    duty=100;
    if (MotorOn==1)
        set_pwm1_duty(duty);
break;

case 't': // Se configura el movimiento del prototipo a velocidad media
    duty=255;
    if (MotorOn==1)
        set_pwm1_duty(duty);
break;

case 'u': // Se configura el movimiento del prototipo a velocidad alta
    duty=500;
    if (MotorOn==1)
        set_pwm1_duty(duty);
break;

case 'v': // Modo automatico de posición
{

    dato=getc(); // se almacena el tiempo de actividad configurado por
el usuario

    switch (dato) // Inicializacion de la variable contador en funcion del
numero de segundos elegidos por el usuario
    {
        case 1: // Opcion 1
            distancia=500; // distancia programada de 500 mm
            break;

        case 2: // Opcion 2
            distancia=1000; // distancia programada de 1000 mm
```

```
        break;

    case 3: // Opcion 3
        distancia=1500; // distancia programada de 1500 mm
        break;

    case 4: // Opcion 4
        distancia=2000; // distancia programada de 2000 mm
        break;

    case 5: // Opcion 5
        distancia=2500; // distancia programada de 2500 mm
        break;

    case 6: // Opcion 6
        distancia=3000; // distancia programada de 3000 mm
        break;

    default:
        break;
}
if (ModoBajar==1)
    distancia=distancia*(-1);

set_pwm1_duty(250);

break;

}

case 'w': // Modo automatico temporizado
    dato=getc(); // se almacena el tiempo de actividad configurado por
el usuario
    switch (dato) // Inicializacion de la variable contador en funcion del
numero de segundos elegidos por el usuario
    {
        case 1: // El prototipo funciona durante 1 segundo
            contador=2; // 2 vueltas del timer 1 (medio segundo cada una)
            break;

        case 2: // El prototipo funciona durante 2 segundos
            contador=4; // 4 vueltas del timer 1 (medio segundo cada una)
            break;

        case 3: // El prototipo funciona durante 3 segundos
            contador=6; // 6 vueltas del timer 1 (medio segundo cada una)
            break;

        case 4: // El prototipo funciona durante 4 segundos
            contador=8; // 8 vueltas del timer 1 (medio segundo cada una)
            break;
```

```
case 5: // El prototipo funciona durante 5 segundos
    contador=10; // 10 vueltas del timer 1 (medio segundo cada una)
    break;

default:
    break;
}

set_pwm1_duty(250);
set_timer1(3036); // precarga para contar 500 milisegundos
TMR1ON=1; // timer activado
break;

case 'x': // Modo Subir. Se configura el prototipo para que ascienda
    SentidoGiro=1;
    ModoCiclico=0;
    ModoBajar=0;
    break;

case 'y': // Modo Bajar. Se configura el prototipo para que descienda
    SentidoGiro=0;
    ModoCiclico=0;
    ModoBajar=1;
    break;

case 'z': // Modo ciclico. Se configura el prototipo para que suba y baje un
numero determinado de ciclos (configurados por el usuario)
    ModoCiclico=1;
    dato=getc(); // Se almacena el numero de ciclos configurados por el
usuario

    switch (dato) // Inicializacion de la variable NCiclos en funcion
del numero de ciclos elegidos por el usuario
    {
        case 1: // 1 ciclo de funcionamiento (una subida y una bajada)
            NCiclos=1;
            break;

        case 2: // 2 ciclos de funcionamiento (dos subidas y dos bajadas)
            NCiclos=2;
            break;

        case 3: // 3 ciclos de funcionamiento (tres subidas y tres bajadas)
            NCiclos=3;
            break;

        case 4: // 4 ciclos de funcionamiento (cuatro subidas y cuatro
bajadas)
            NCiclos=4;
            break;
```

```
case 5: // 5 ciclos de funcionamiento (cinco subidas y cinco
bajadas)
    NCiclos=5;
    break;

default:
    break;
    }
}
}

void main() // funcion principal
{
    TRISB=0b11100111; // pin 3 (pwm), 4 (sentido giro) como salidas, pin 0 y 5 entradas
(encoder)
    TRISA=0b00000000; // pin 0,1,2,3 y 4 como salidas (leds)

    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    enable_interrupts(int_ext); // se activa la mascara de interrupcion por flanco externo
    ext_int_edge(L_TO_H); // configuracion de la interrupcion por flancos ascendentes (LOW
TO HIGH)
    setup_timer_1(T1_INTERNAL/T1_DIV_BY_8); // configuracion de los parametros del
TIMER 1
    enable_interrupts(INT_RDA); // se activa la mascara de interrupcion de entrada de datos por
el puerto serie
    enable_interrupts(INT_TIMER1); // se activa la mascara de interrupcion por desborde del
TIMER 1
    enable_interrupts(GLOBAL); // se activa la mascara de interrupciones global
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,127,1); // configuracion de los parametros del TIMER 2 para
fijar la frecuencia de la señal PWM
    setup_ccp1(CCP_PWM); // configuracion del modulo CCP en modo PWM
    set_timer1(3036); // configuracion de TIMER 1 con una precarga de 3036 para que cuente 500
milisegundos
    TMR1ON=0; // TIMER 1 deshabilitado por defecto

    set_pwm1_duty(0); // Motor apagado por defecto
    duty=50; // velocidad por defecto
    SentidoGiro=0; // pin de sentido de giro a 1 (Giro a la izquierda por defecto)
    // puesta a cero de variables del modo automatico
    contador=0;
    i=0;
    j=0;
    secuencia_leds=1; // secuencia de LEDs nº1 configurada por defecto

    while(1) // bucle infinito
    {
        switch (secuencia_leds) // algoritmo de encendido y apagado de LEDs en funcion
de la secuencia elegida por el usuario
        {
            case 1: // Secuencia 1
```

```
        PORTA=(0b11110101);
        delay_ms(500);

        PORTA=(0b11101010);
        delay_ms(500);

    break;

    case 2: // Secuencia 2

        PORTA=(0b11111111);
        delay_ms(500);

        PORTA=(0b11100000);
        delay_ms(500);

    break;

    case 3: // Secuencia 3

        PORTA=(0b11111111);
        fila_leds_1=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_2=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_3=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_4=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_5=0;
        delay_ms(500);
        PORTA=(0b00000000);
        fila_leds_1=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_2=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_3=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_4=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_5=1;
        delay_ms(500);

    break;

    case 4: // Secuencia 4

        PORTA=(0b11111111);
        fila_leds_1=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_2=0;
        delay_ms(500);
```

```
        fila_leds_3=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_4=0;
        delay_ms(500);
        fila_leds_5=0;
        delay_ms(500);
    break;

    case 5: // Secuencia 5

        PORTA=(0b00000000);
        fila_leds_1=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_2=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_3=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_4=1;
        delay_ms(500);
        fila_leds_5=1;
        delay_ms(500);

    break;

}

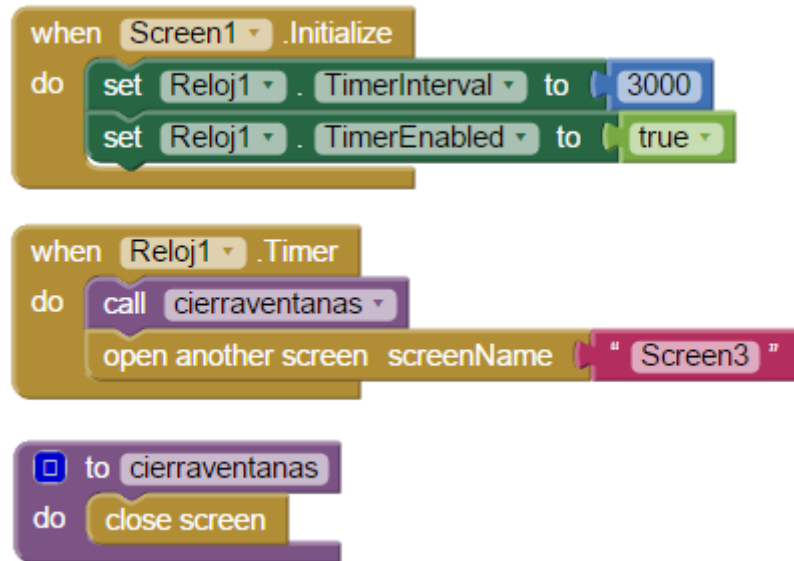
}

}
```

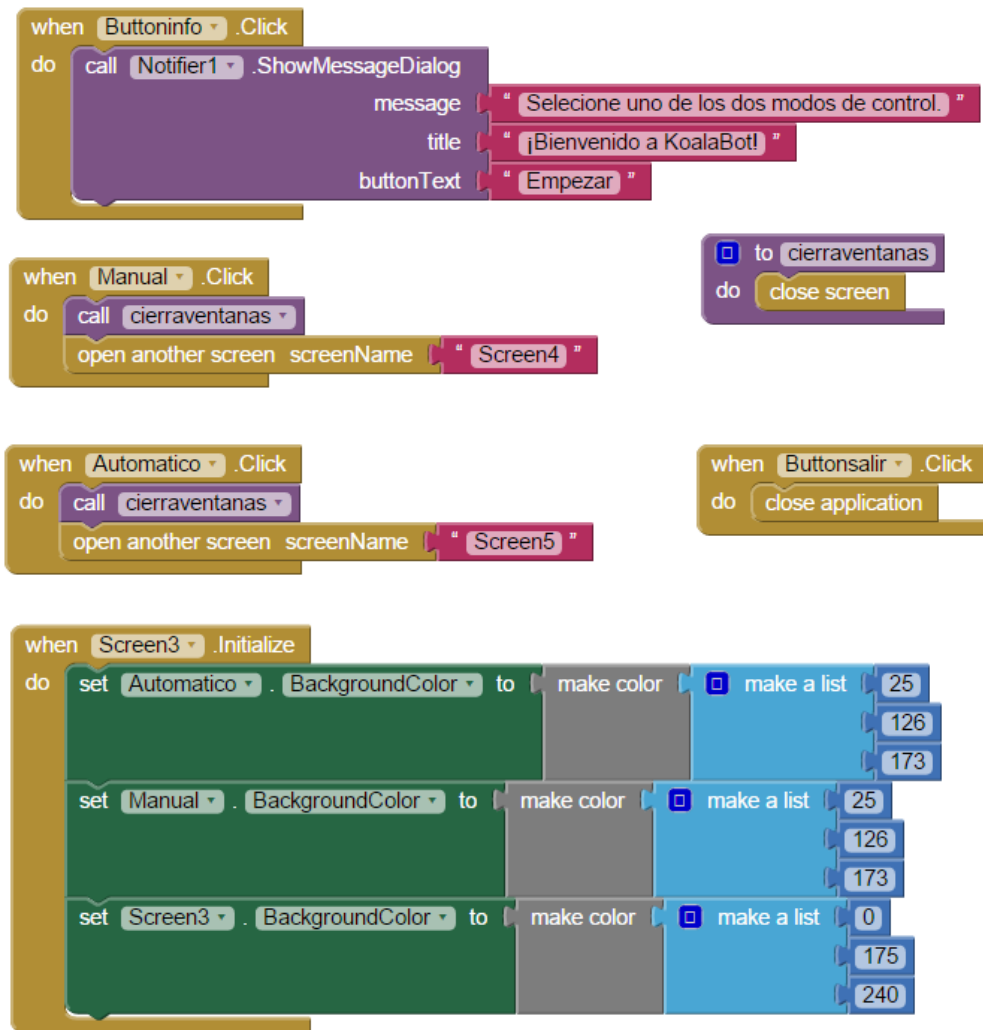


## 6.2. App de control remoto

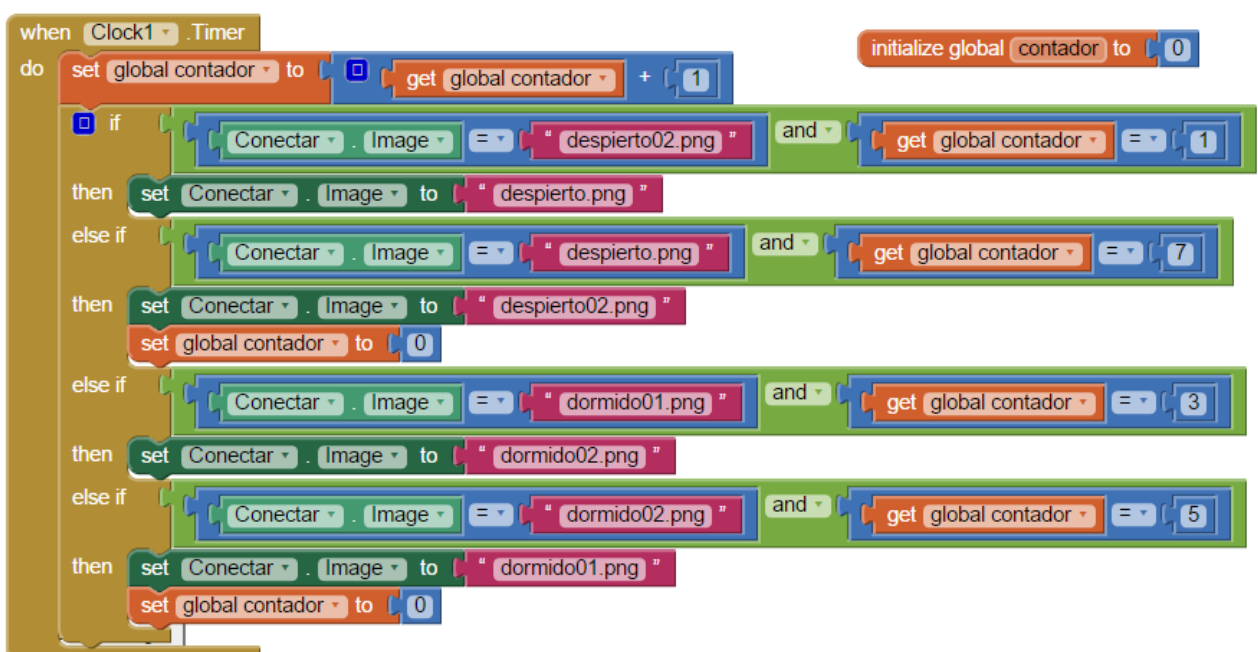
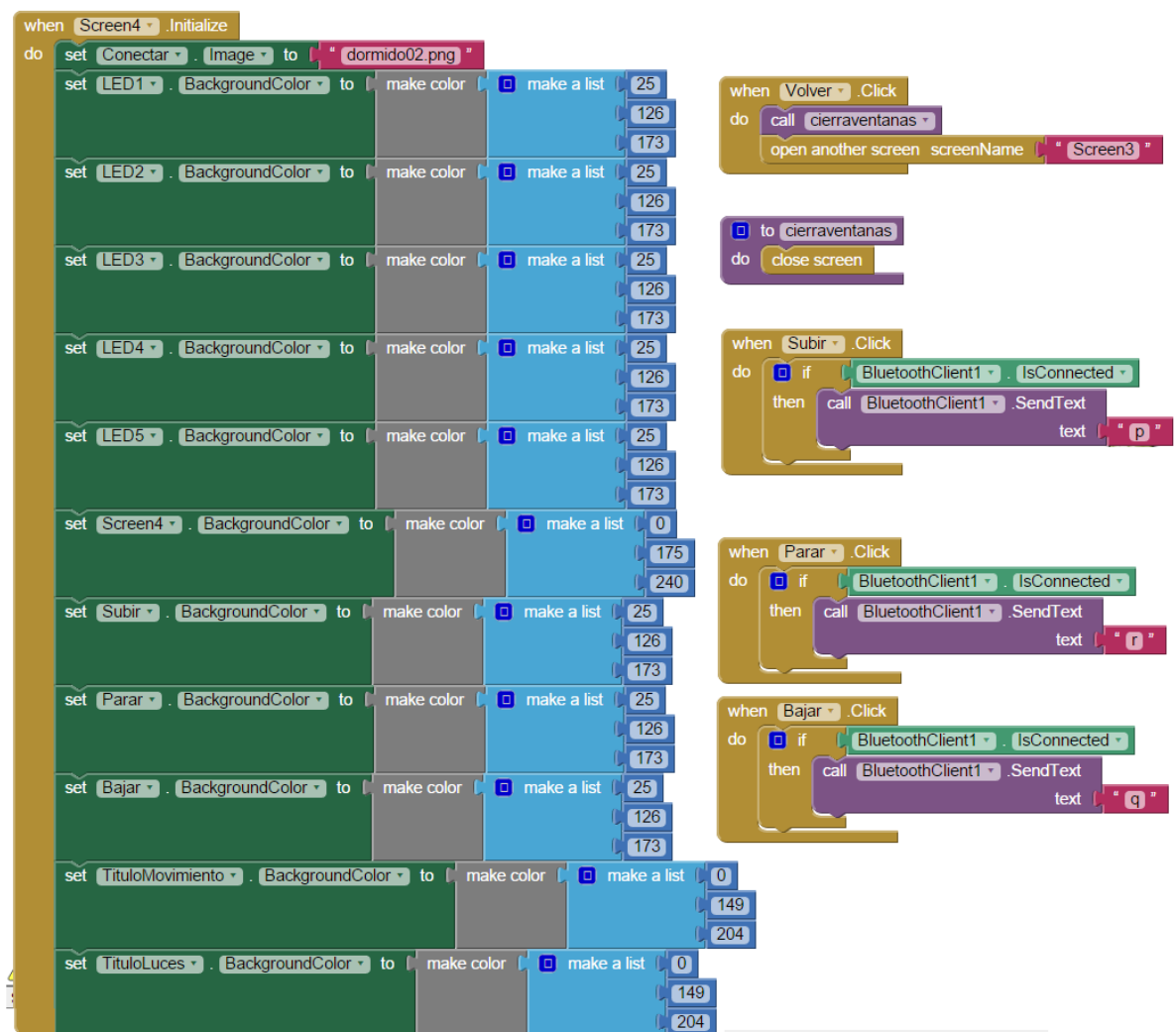
### 6.2.1. Pantalla de Inicio

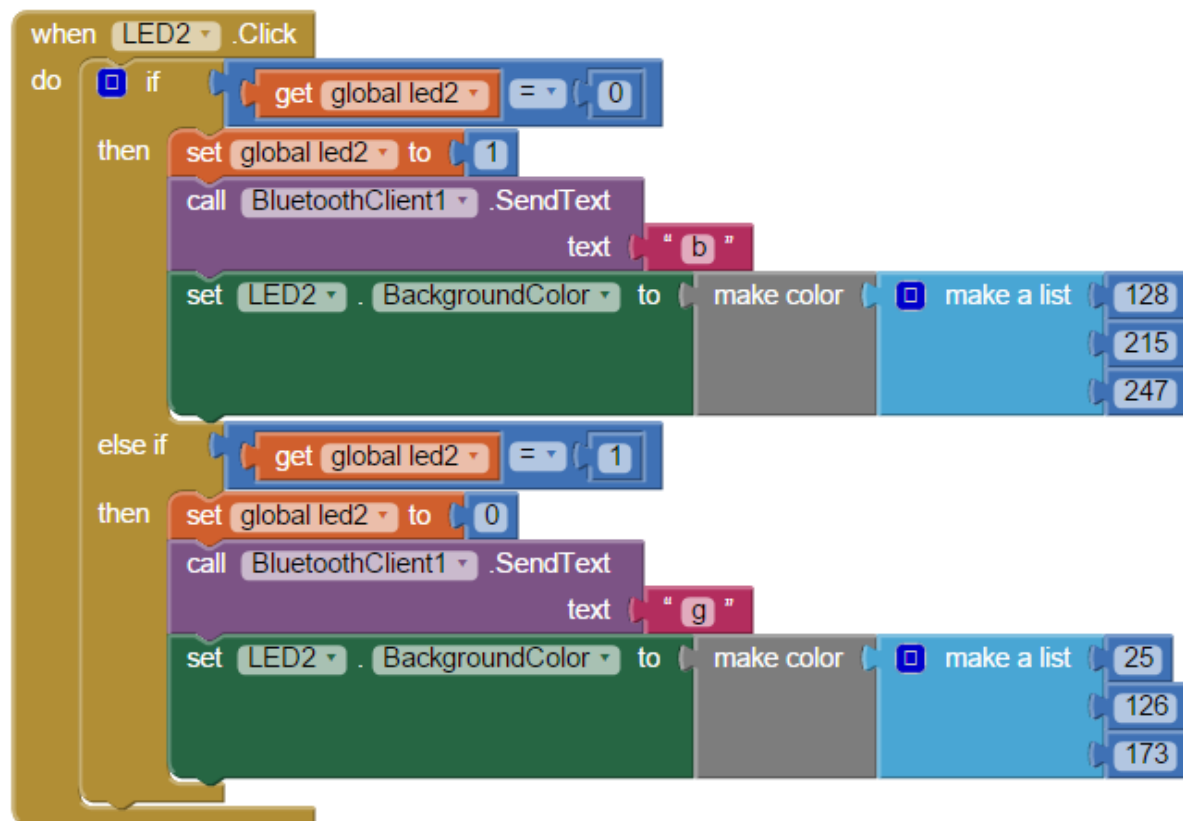
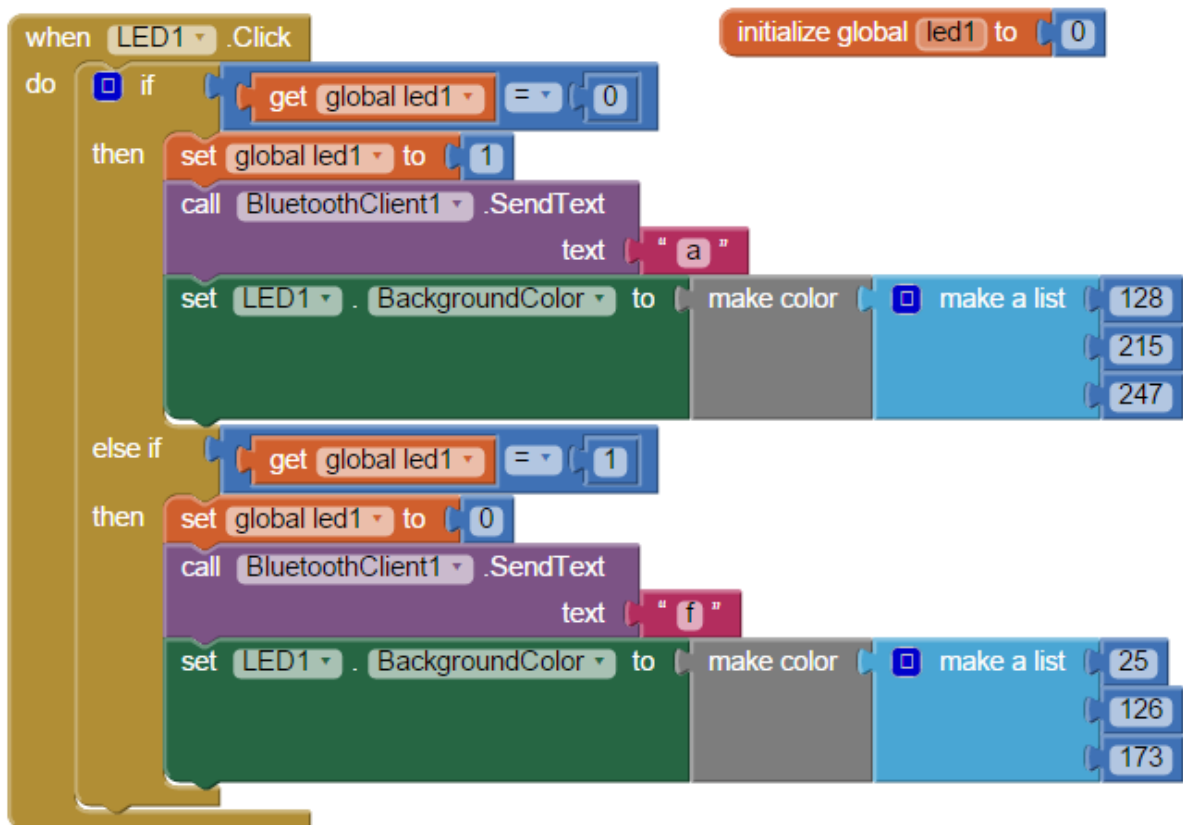


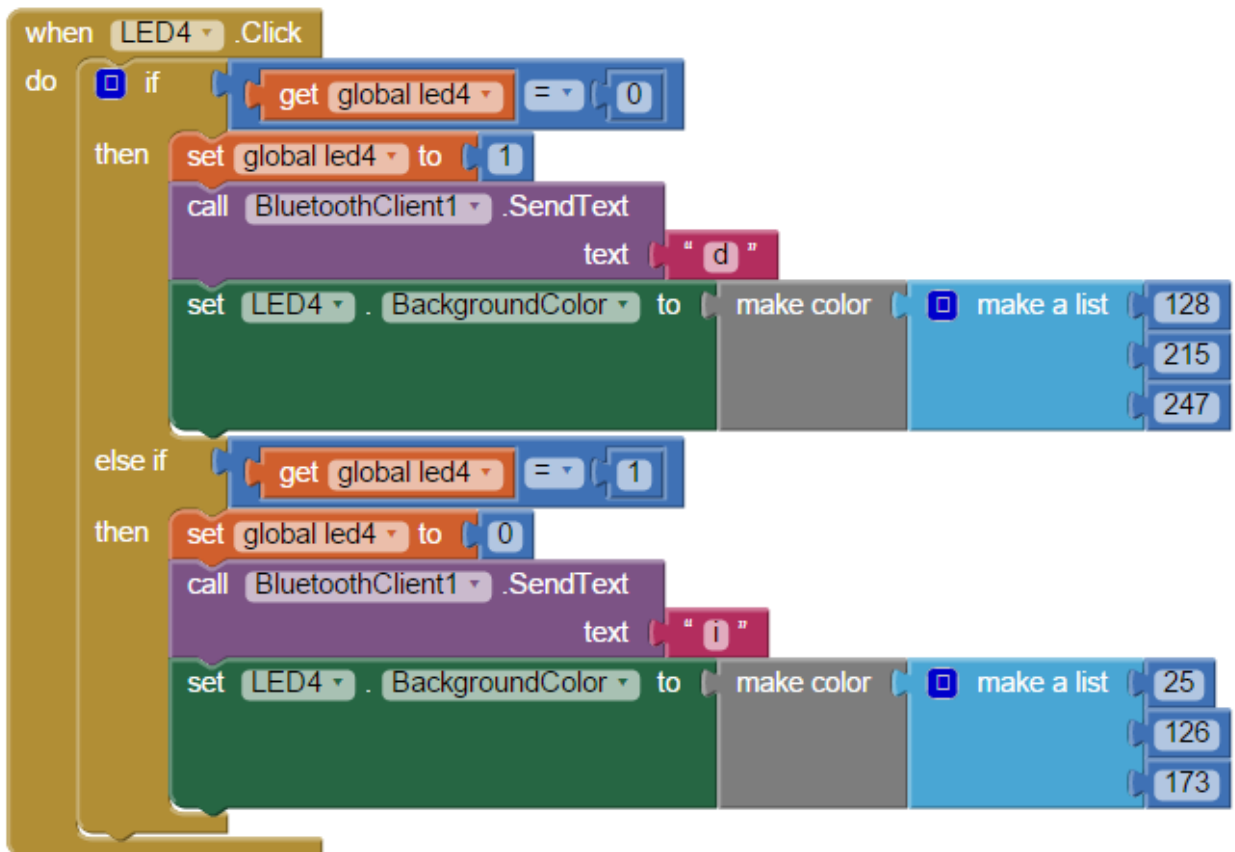
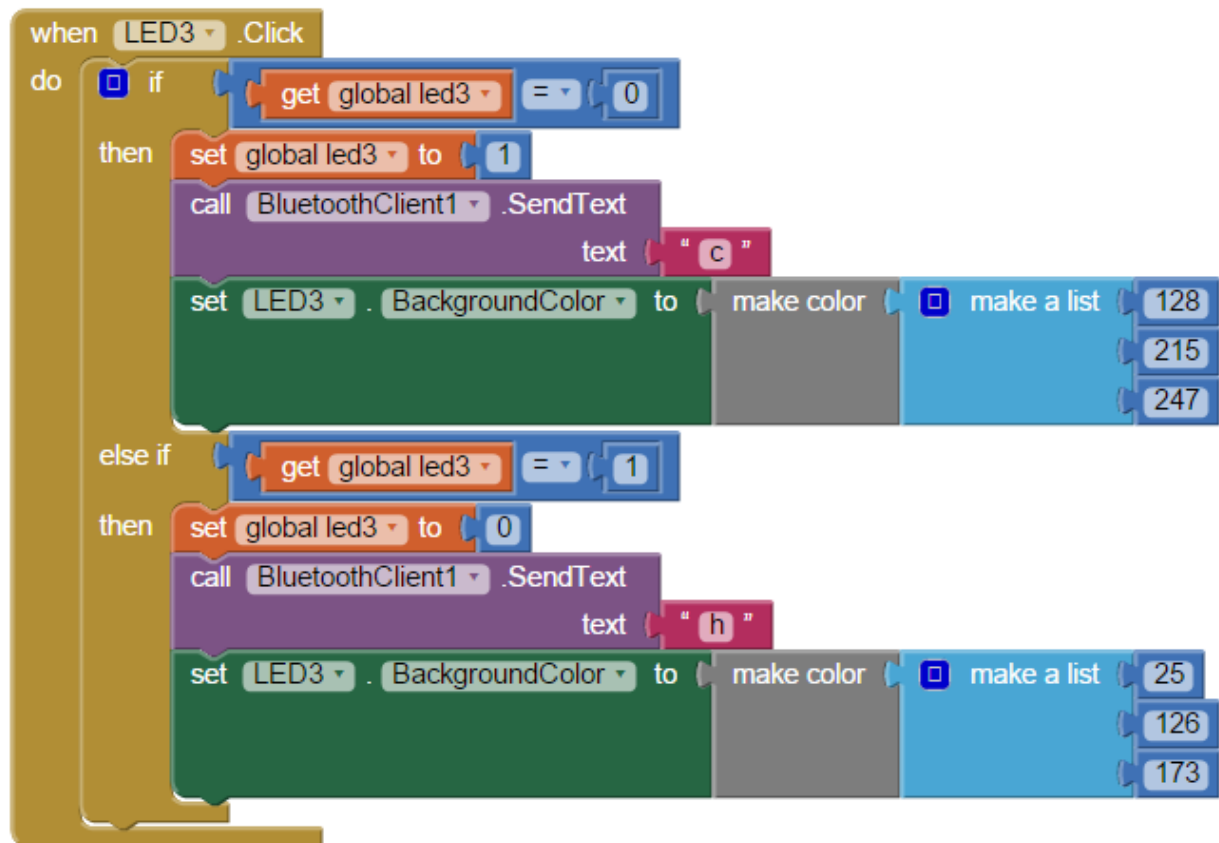
### 6.2.2. Menu principal

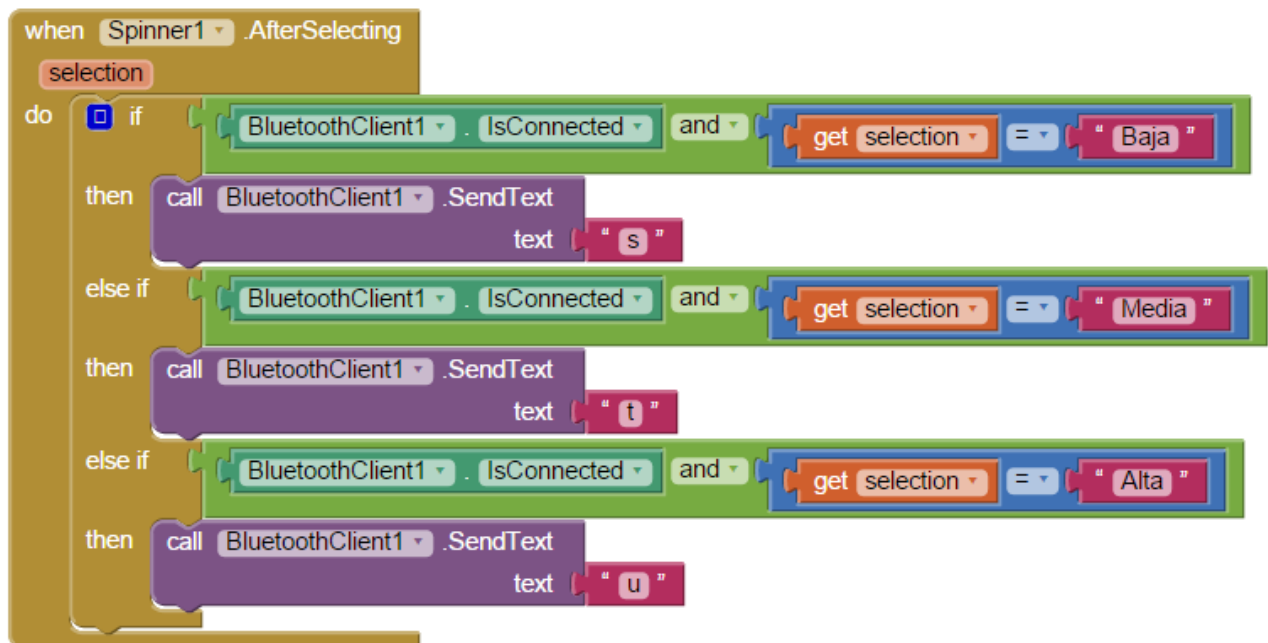
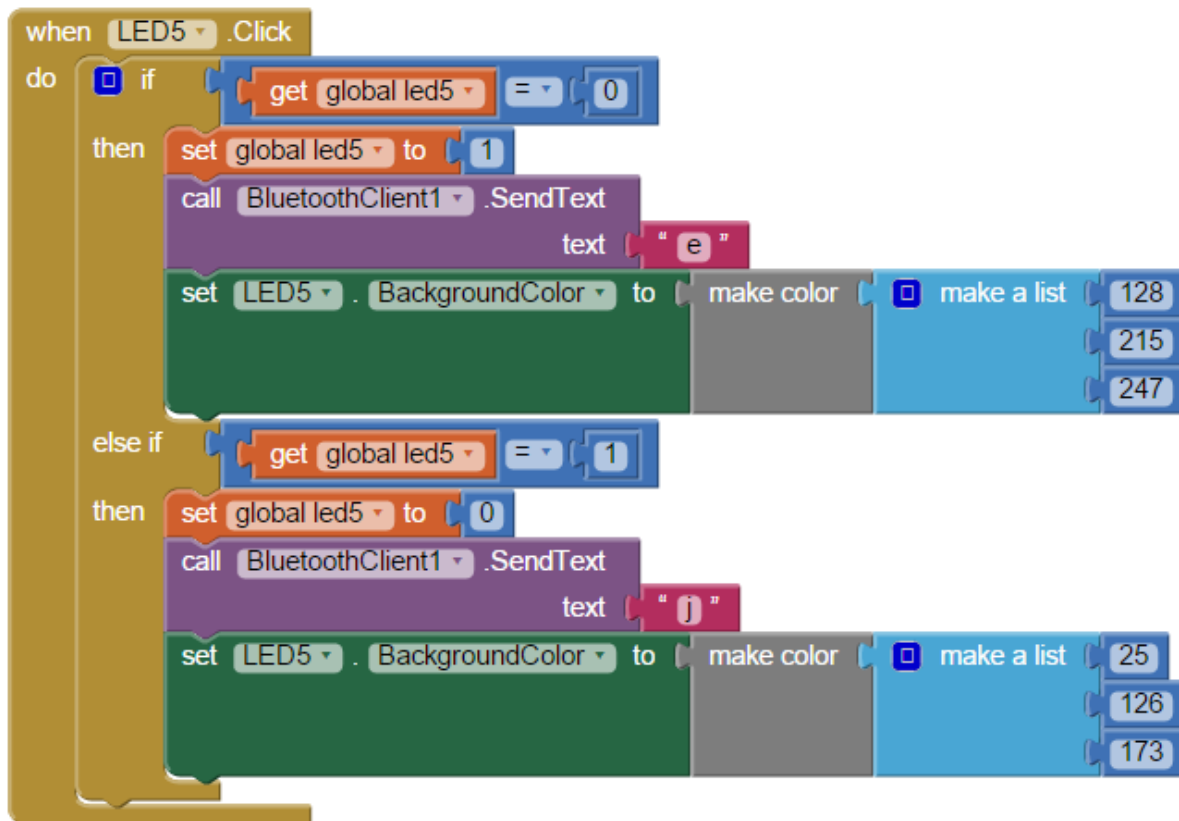


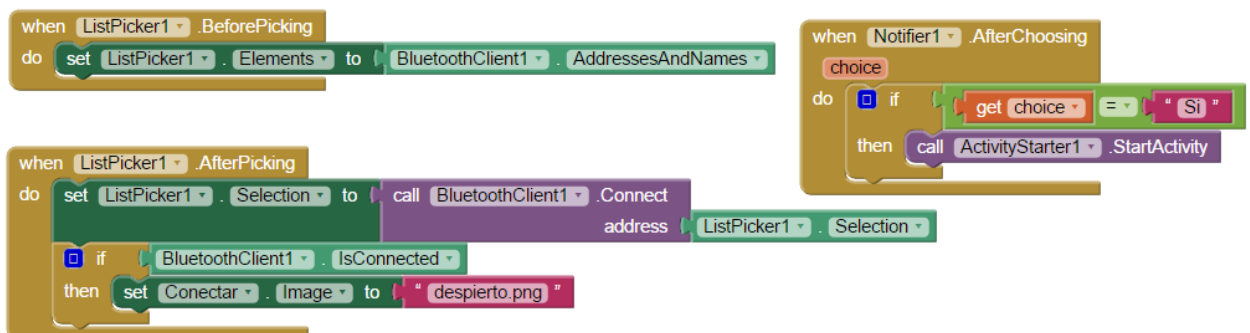
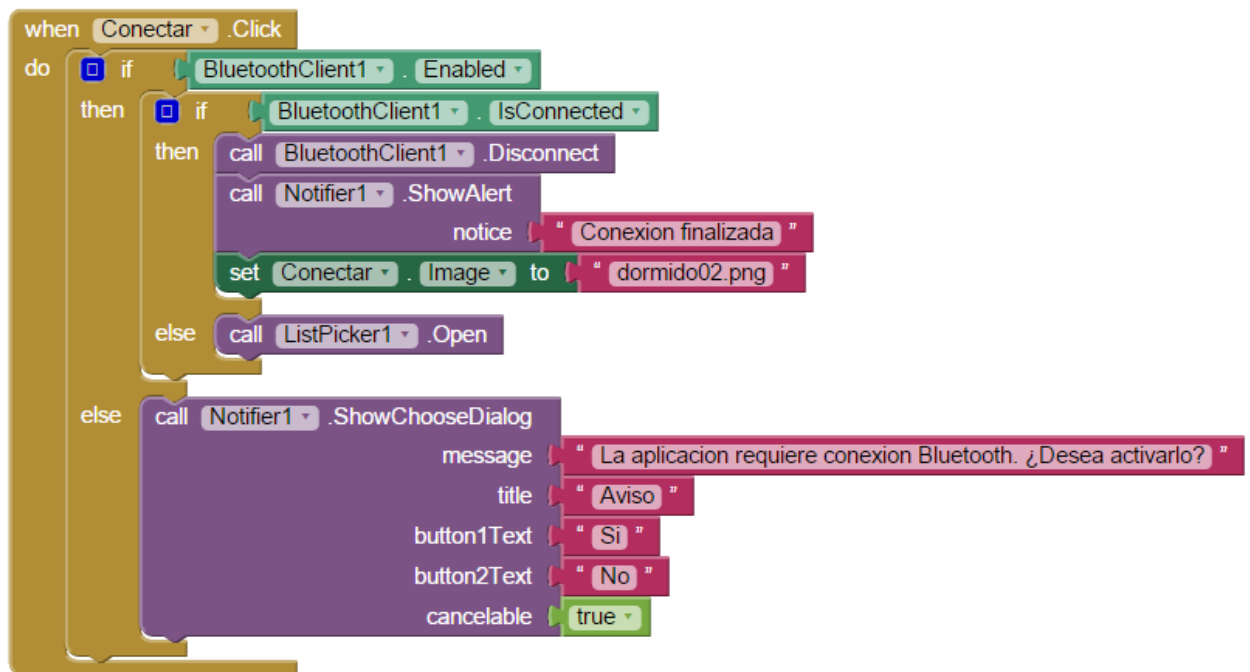
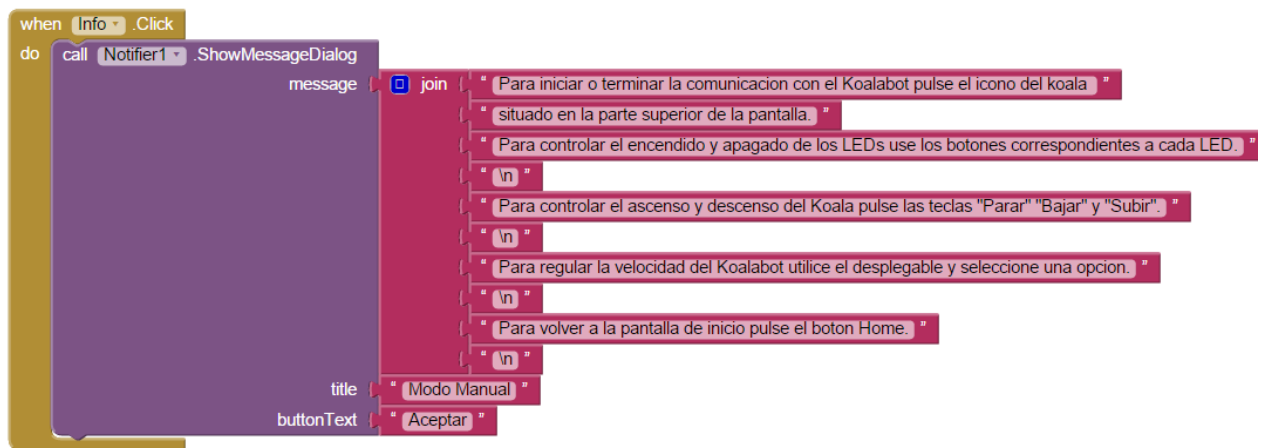
### 6.2.3. Modo Manual



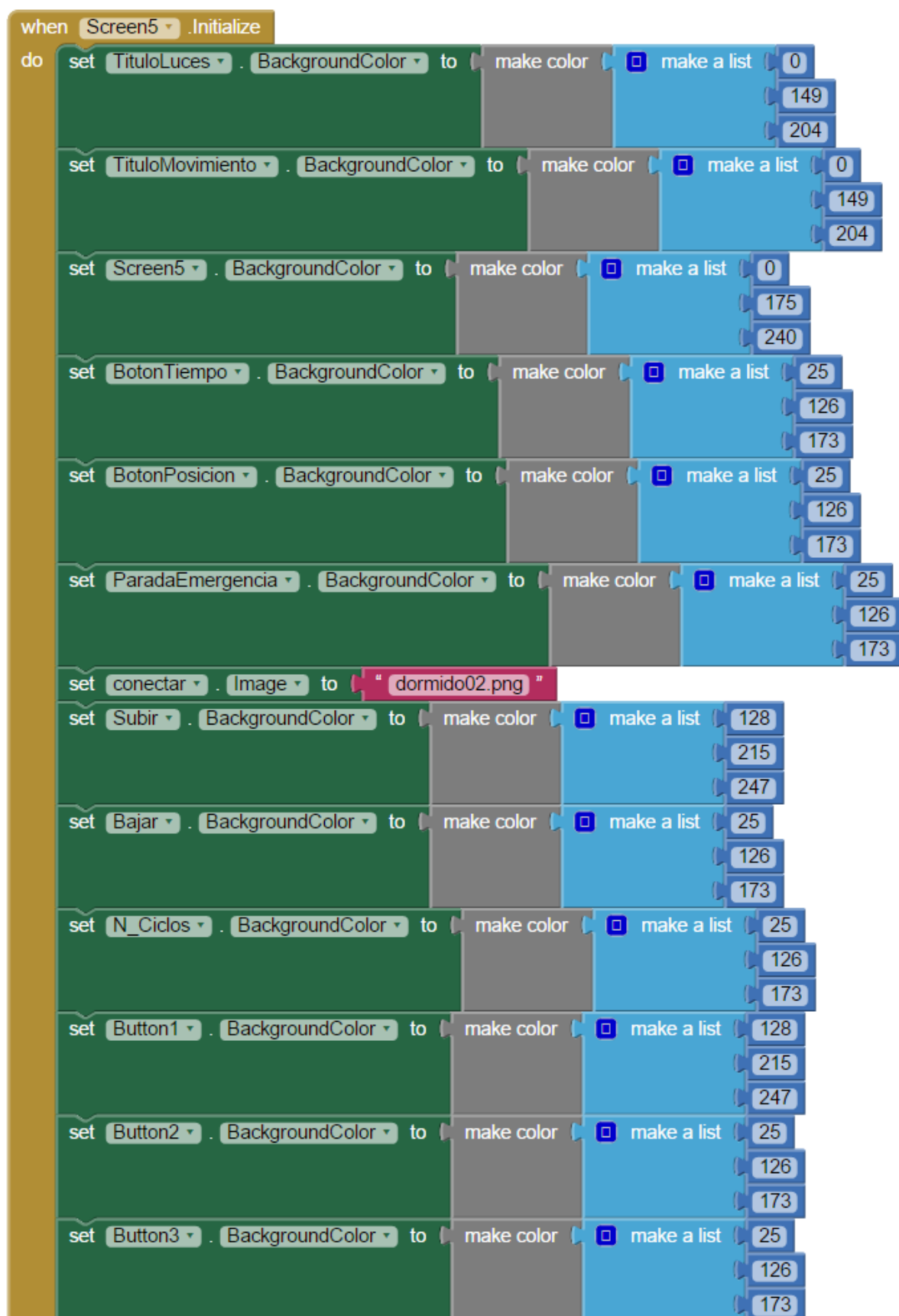




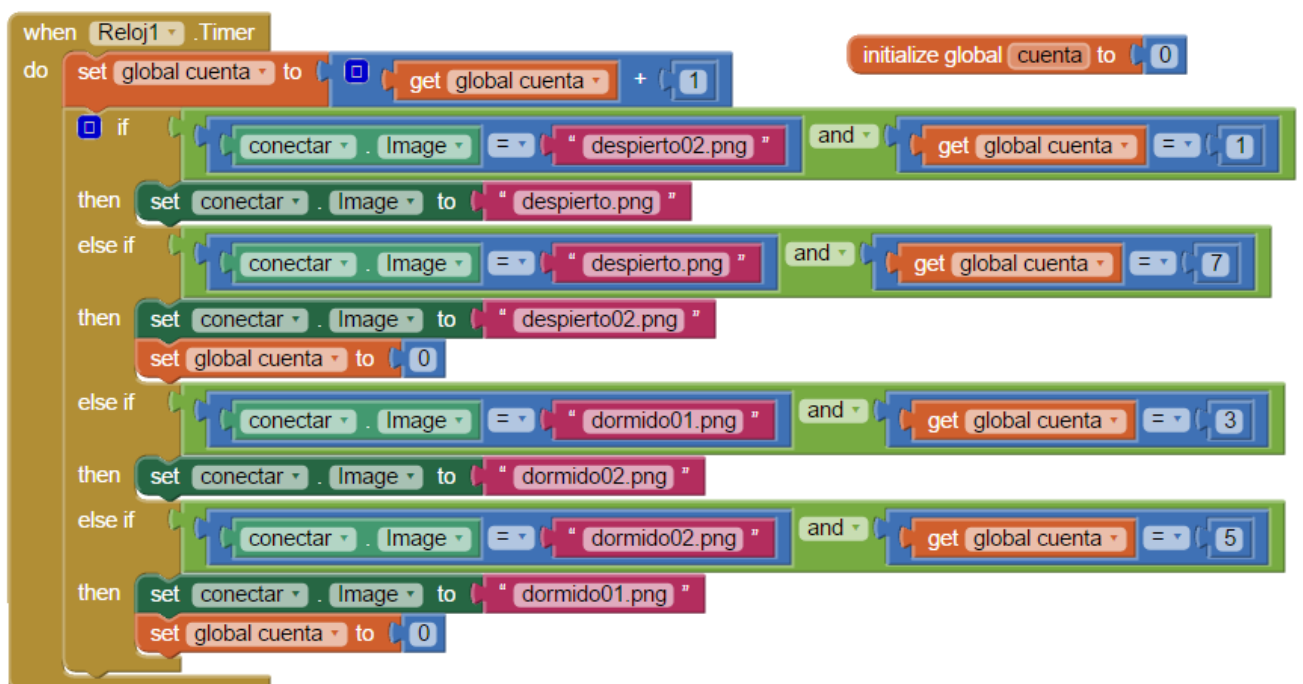
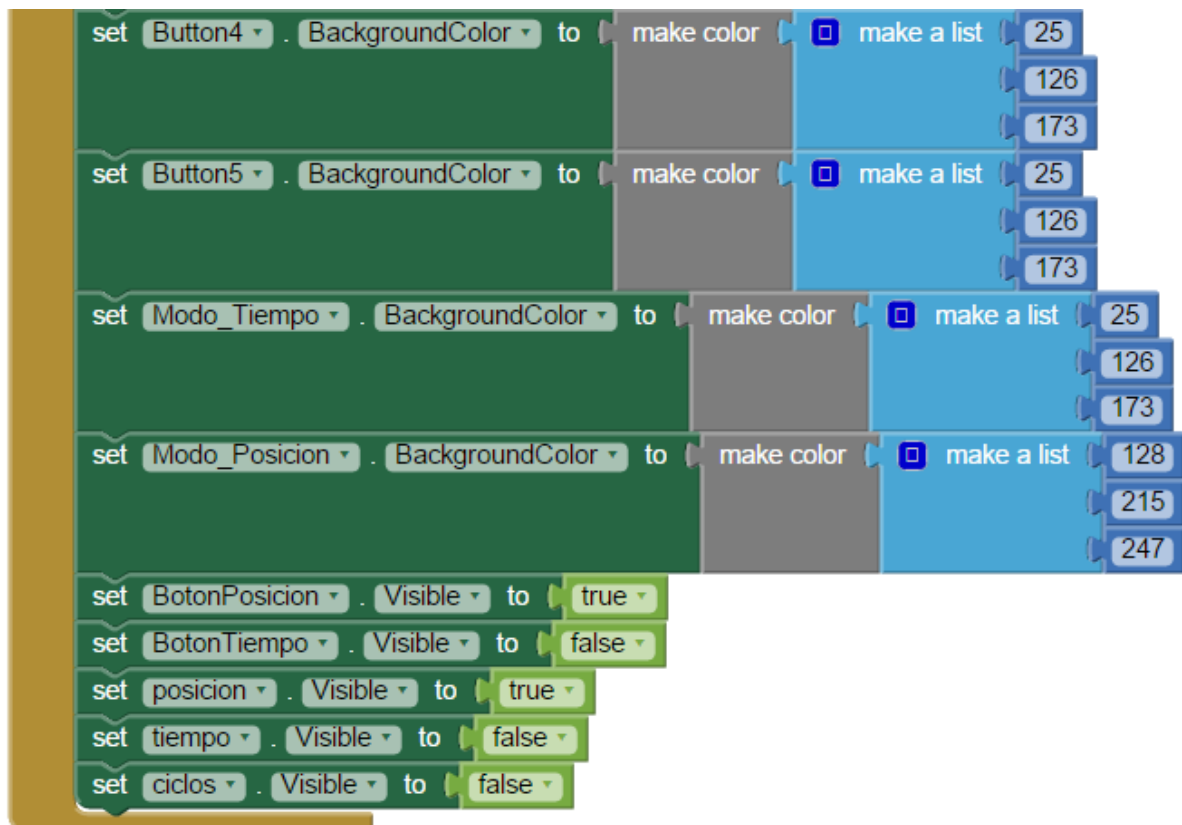


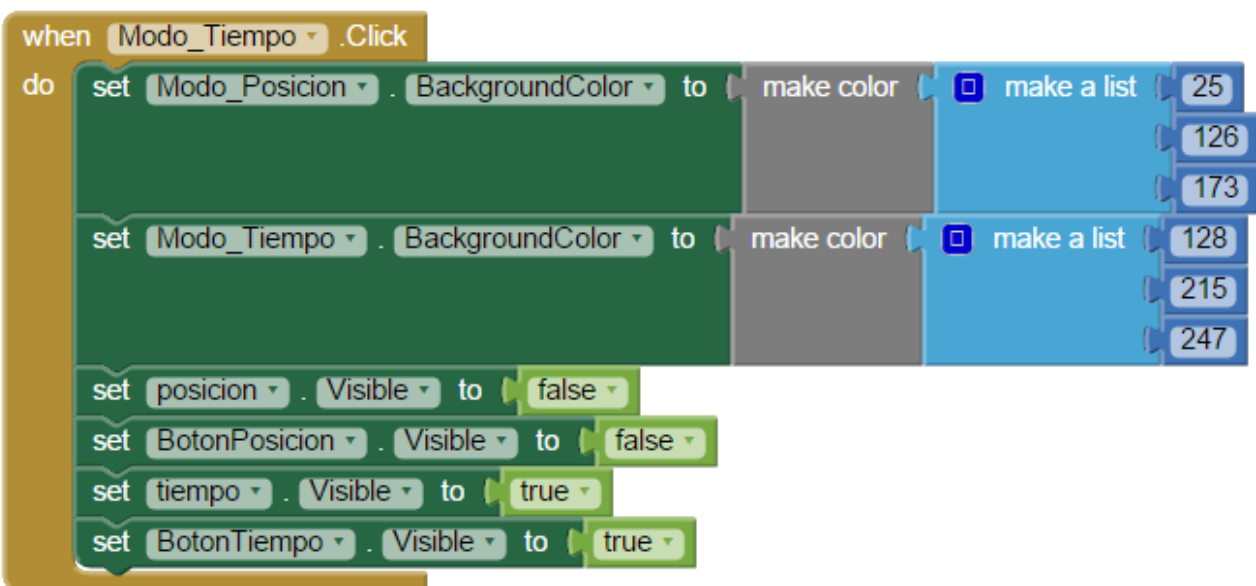
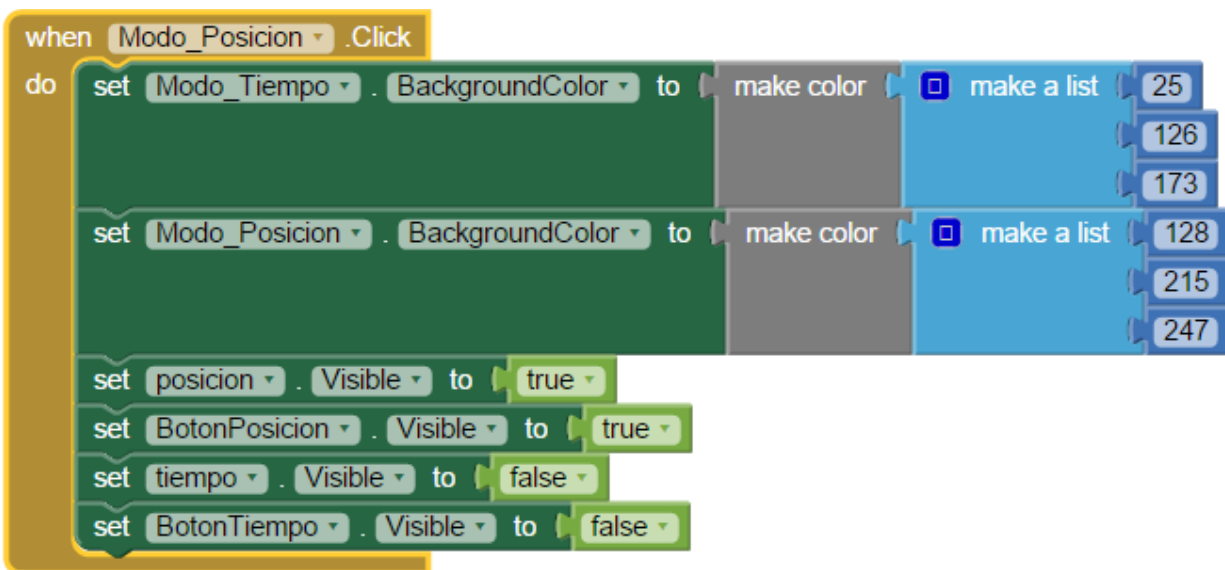


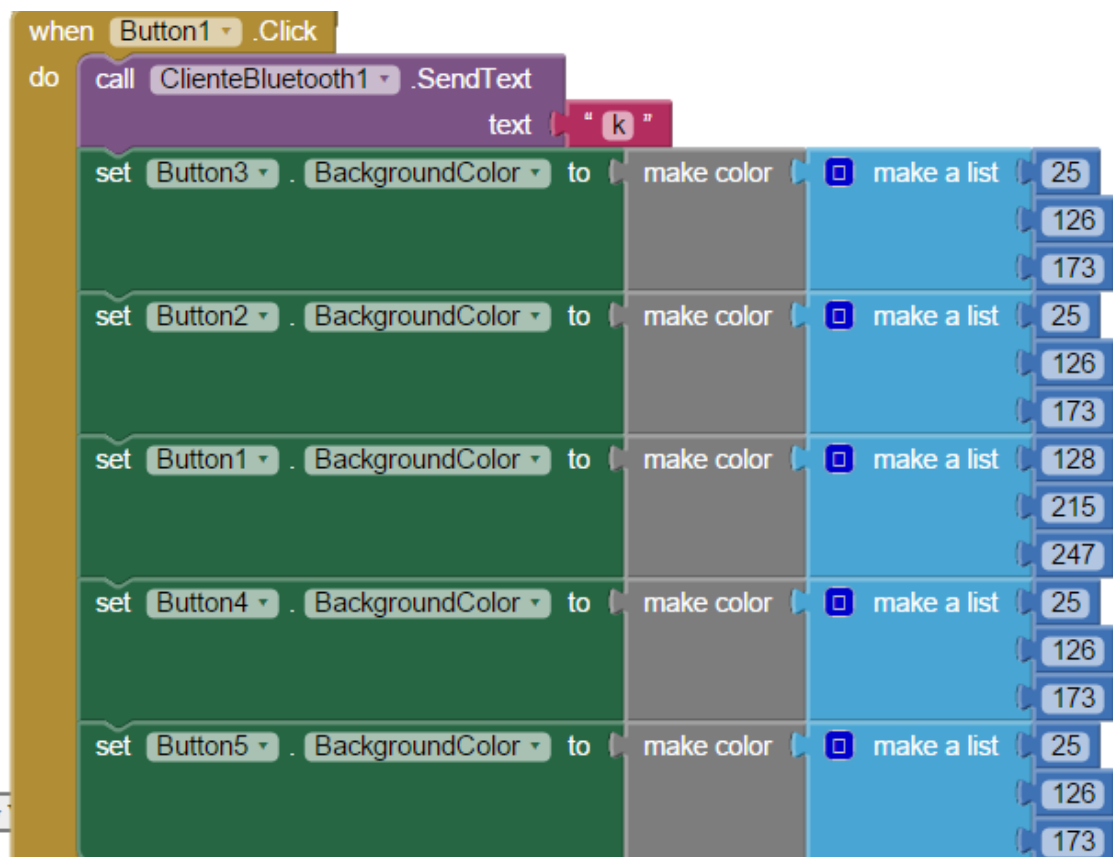
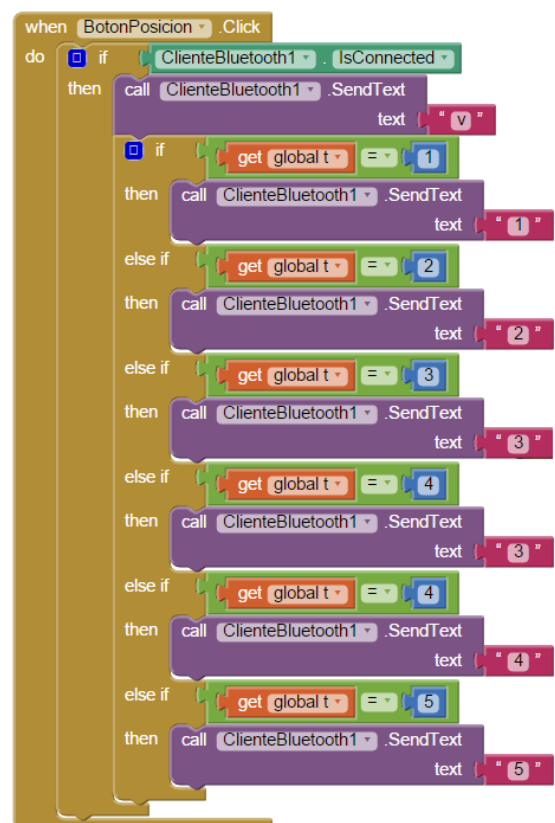
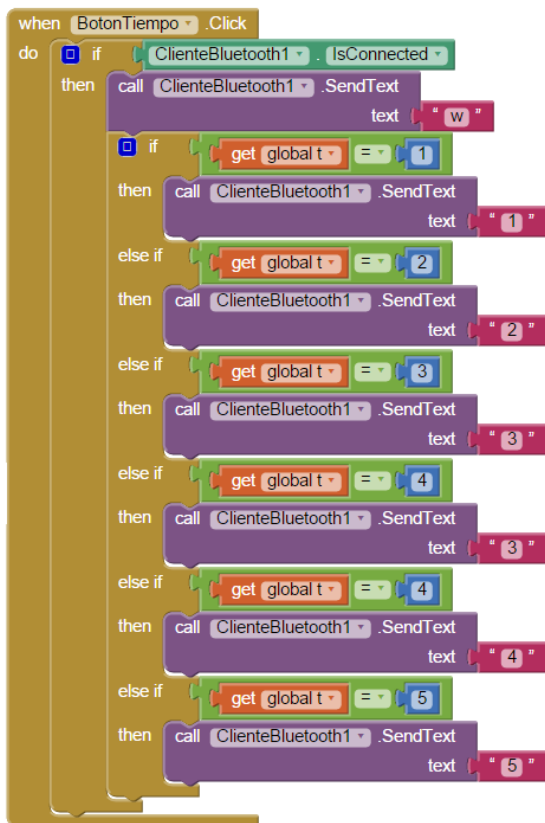
#### 6.2.4. Modo Automatico

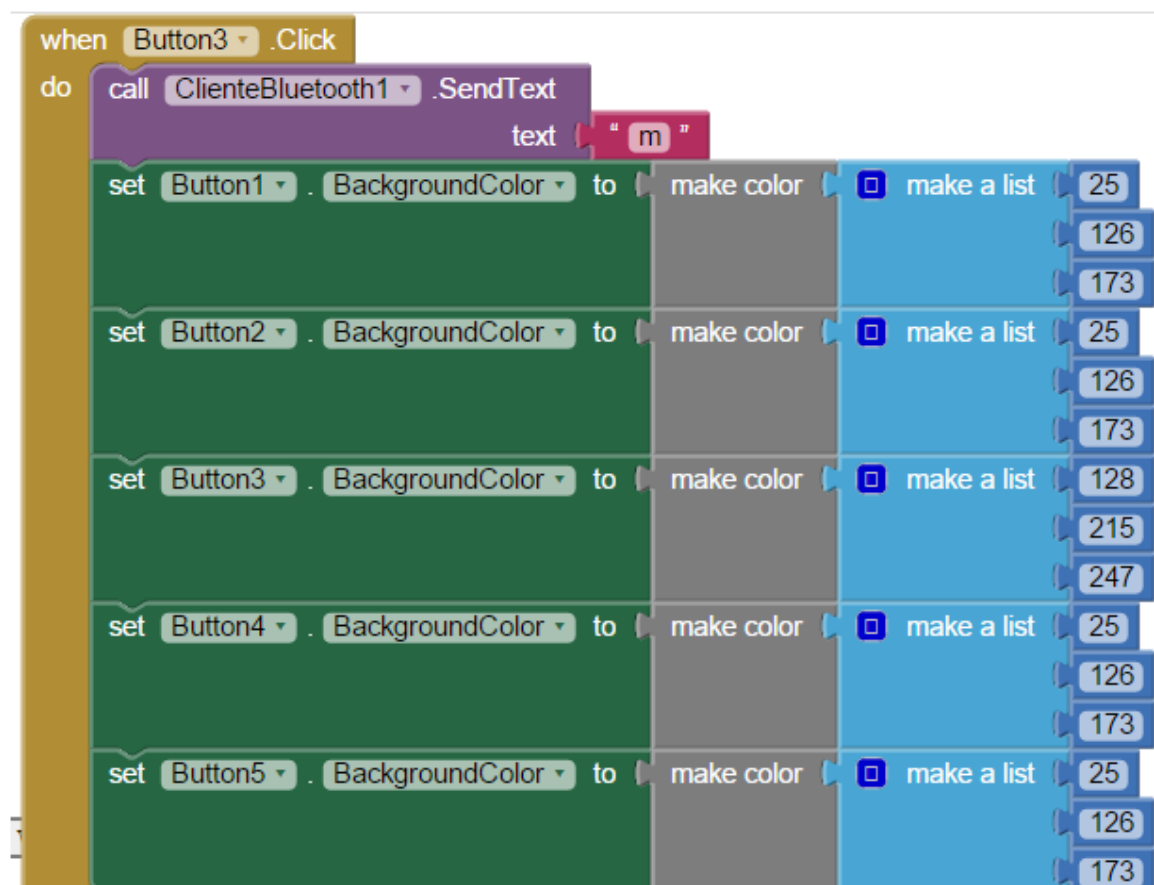
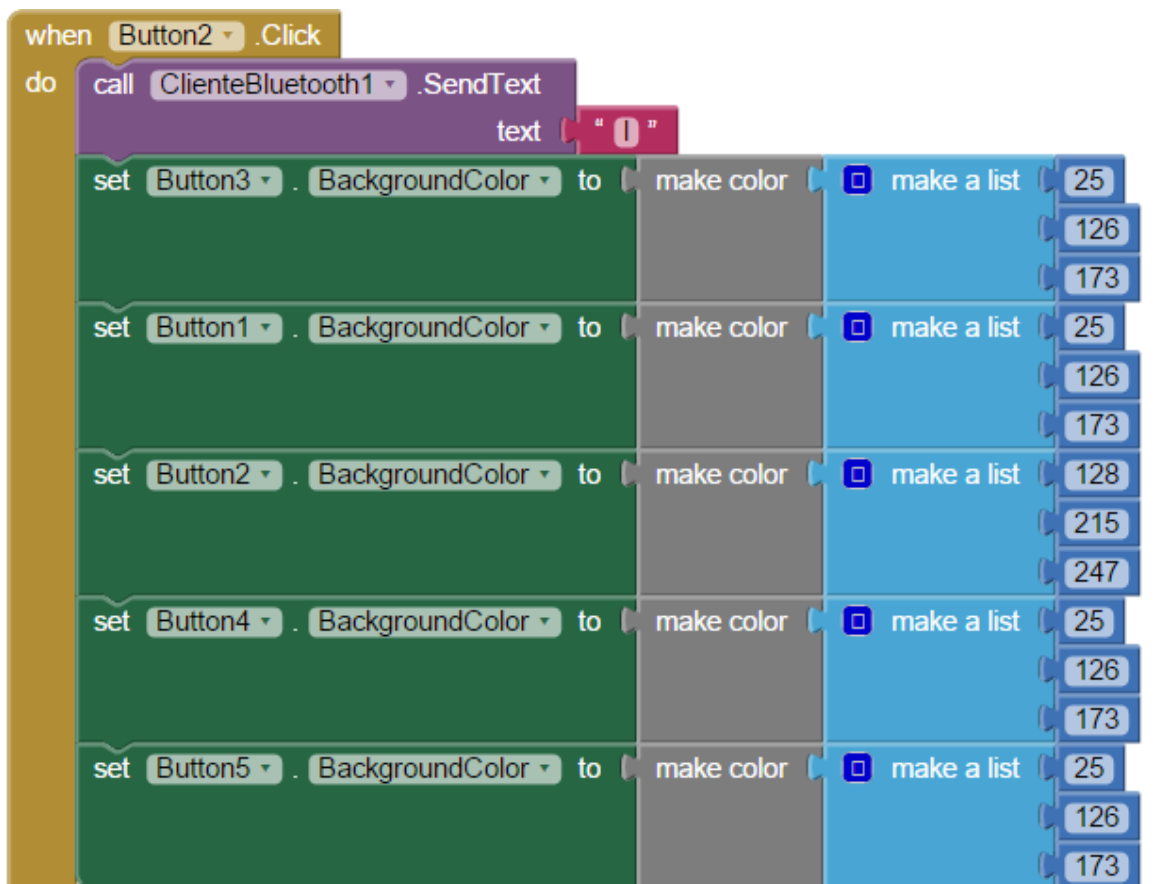


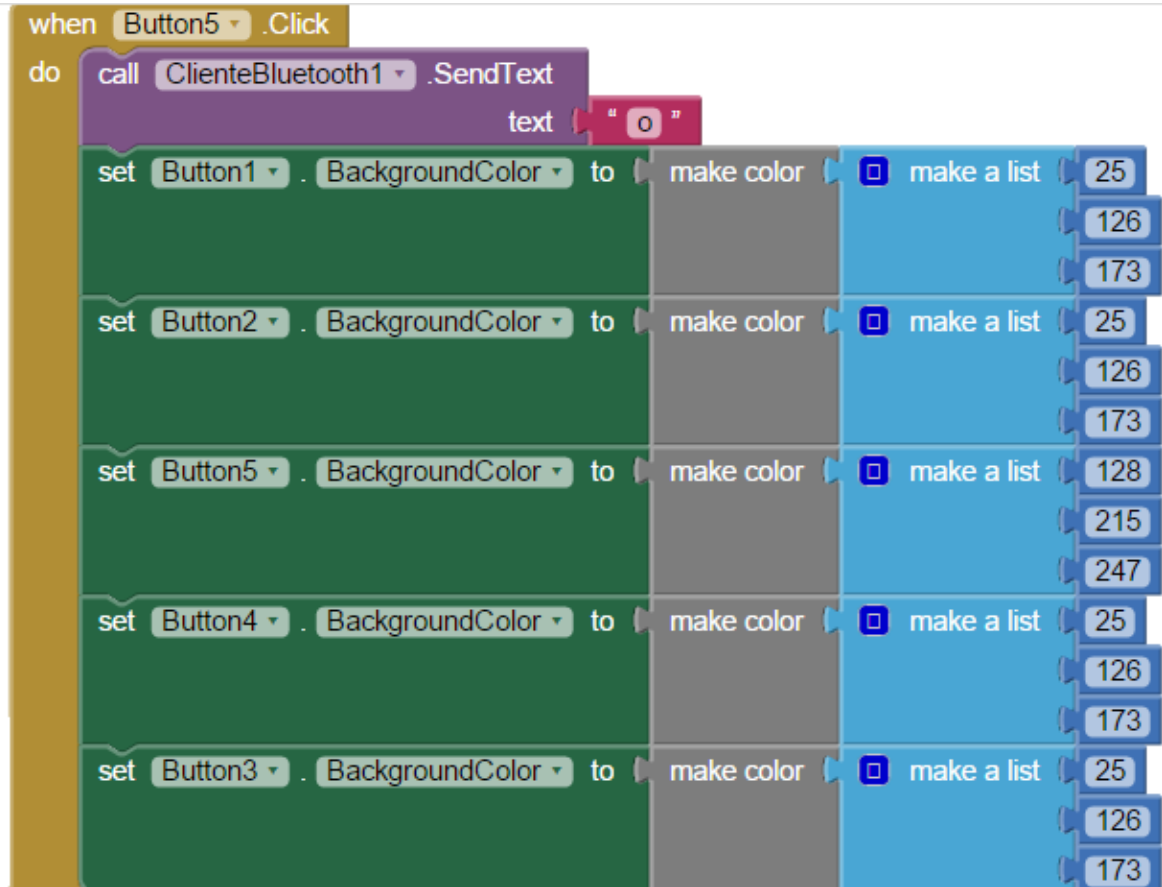
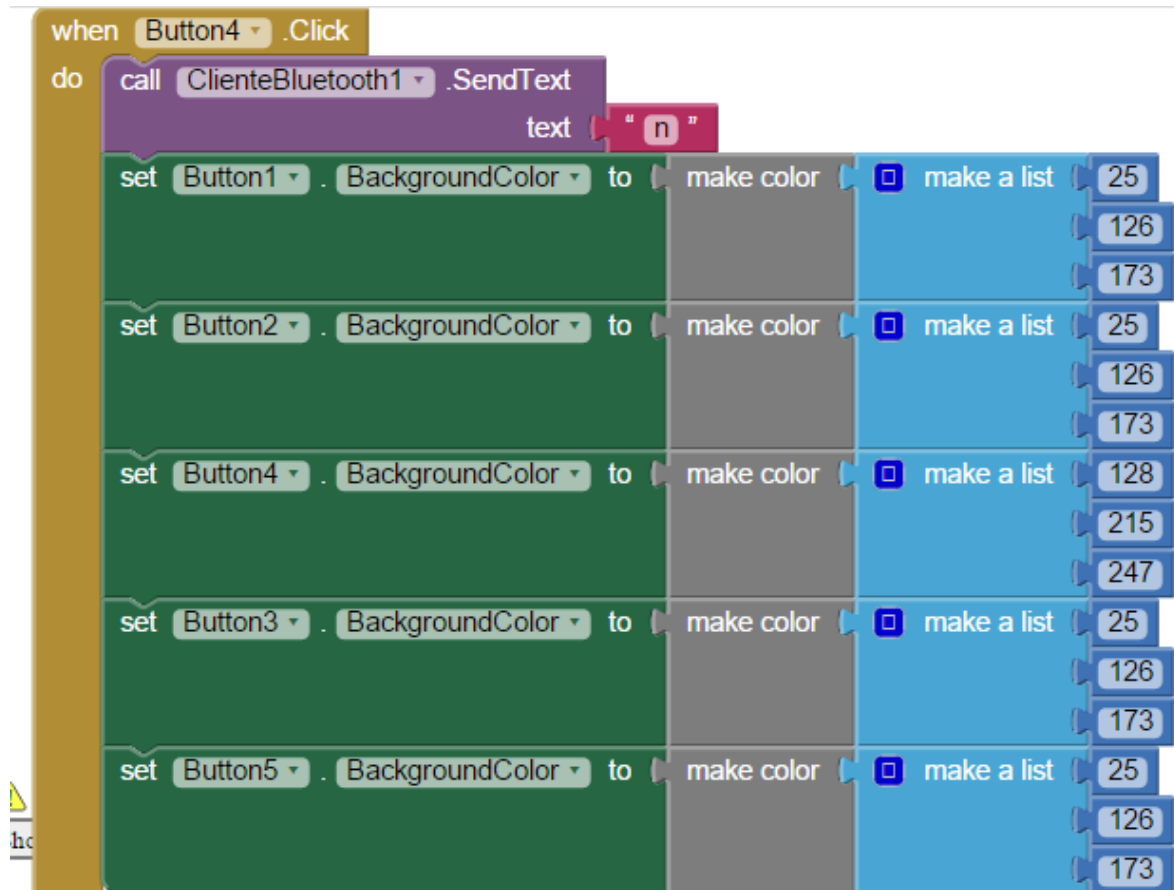


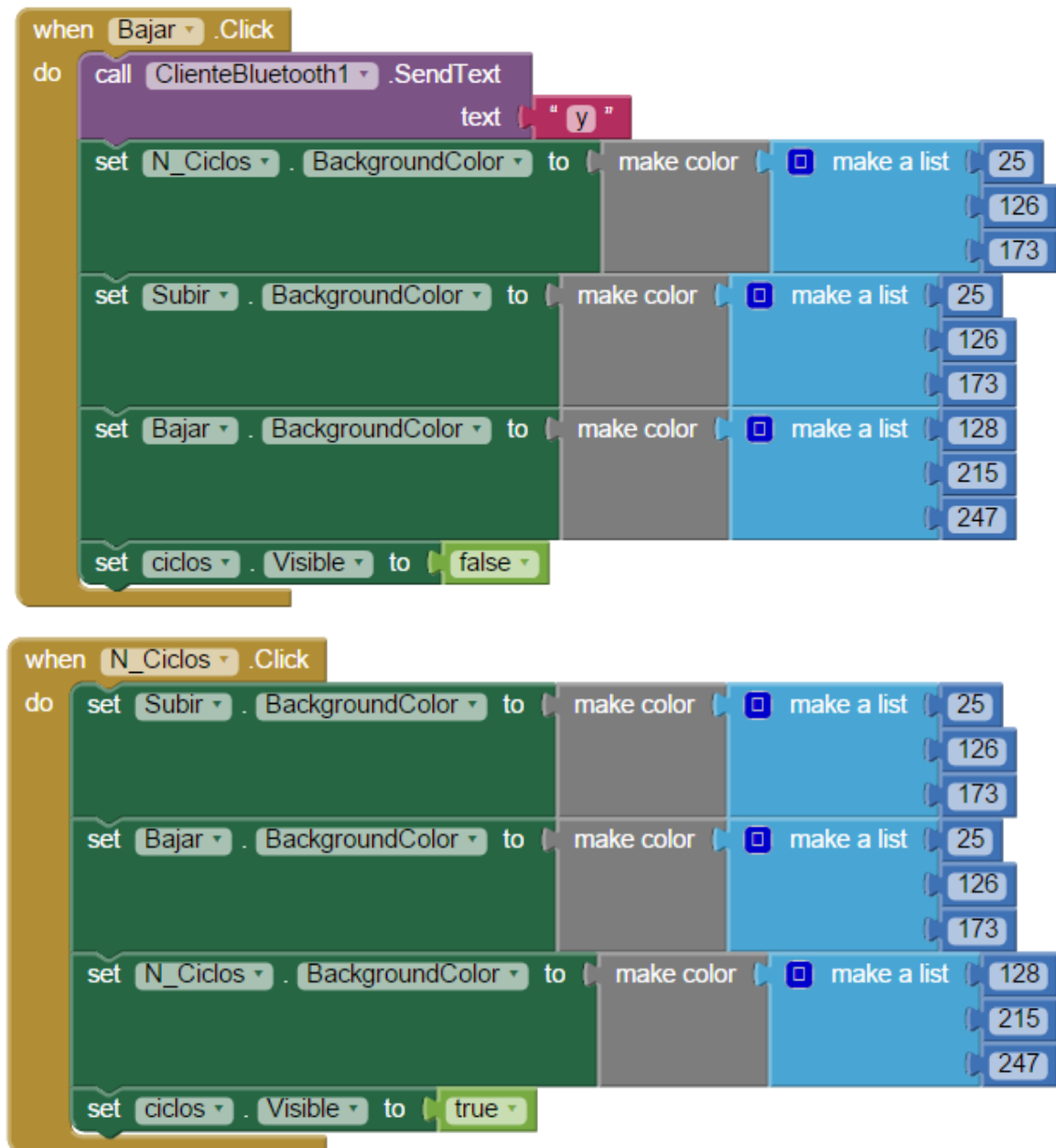


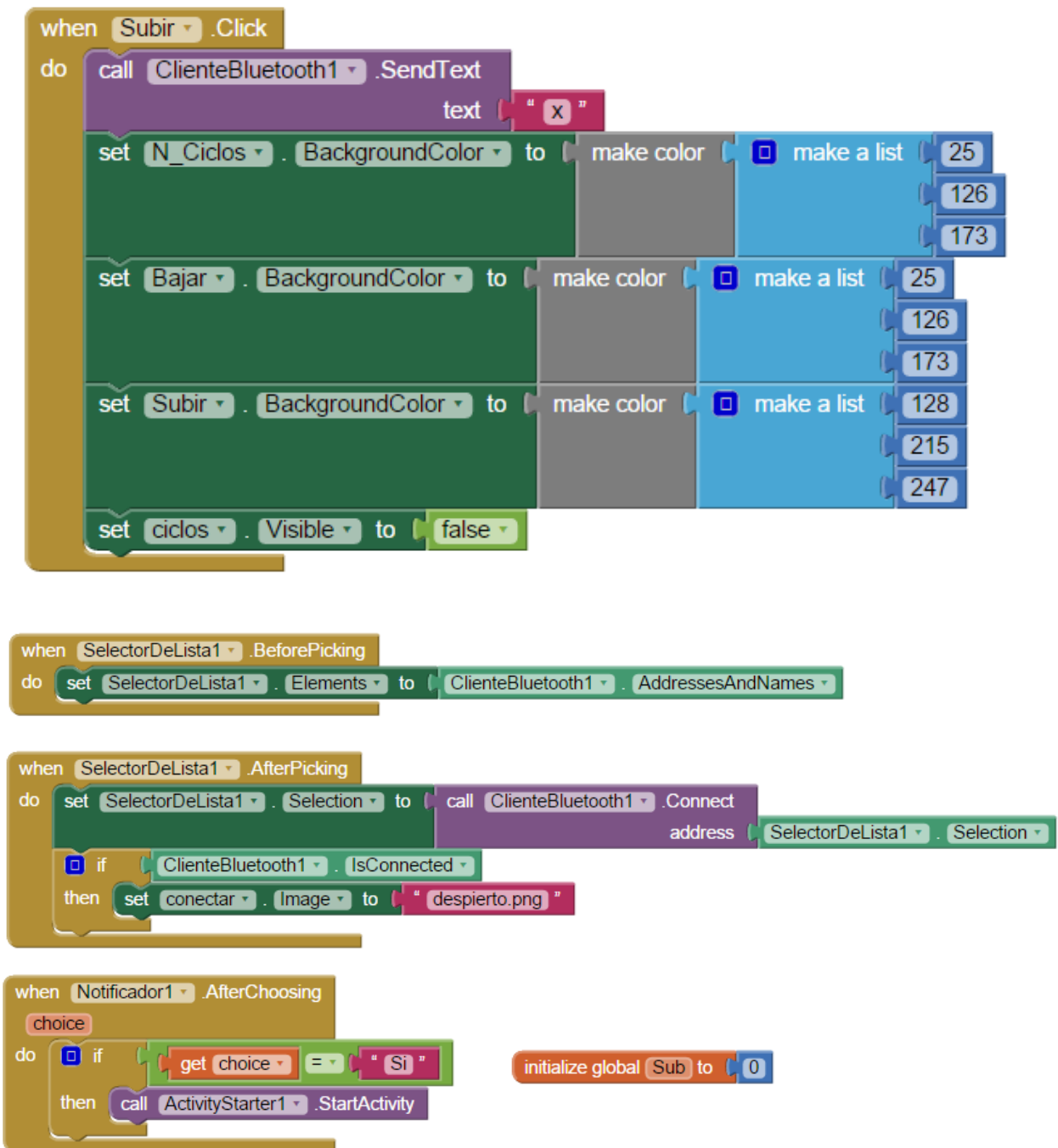


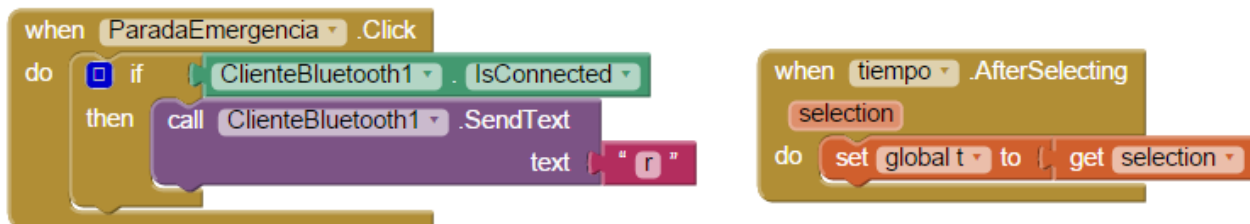
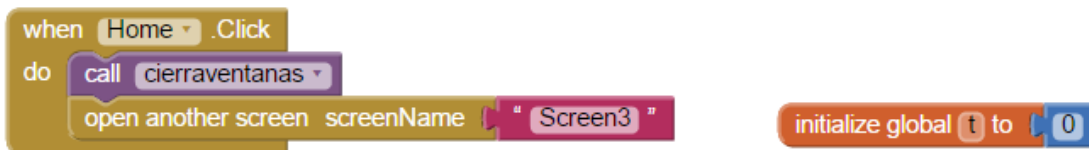
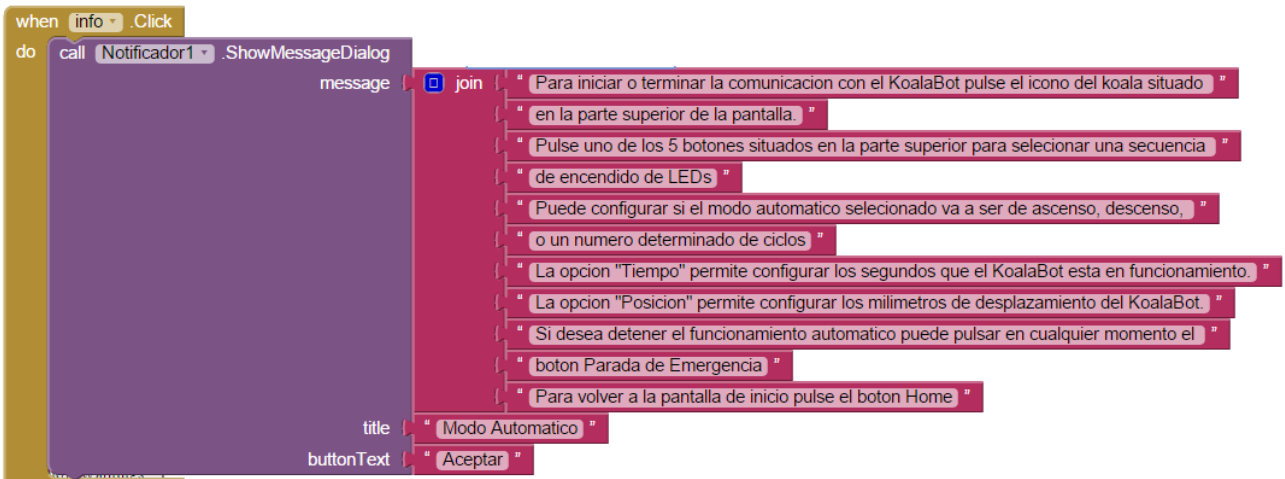
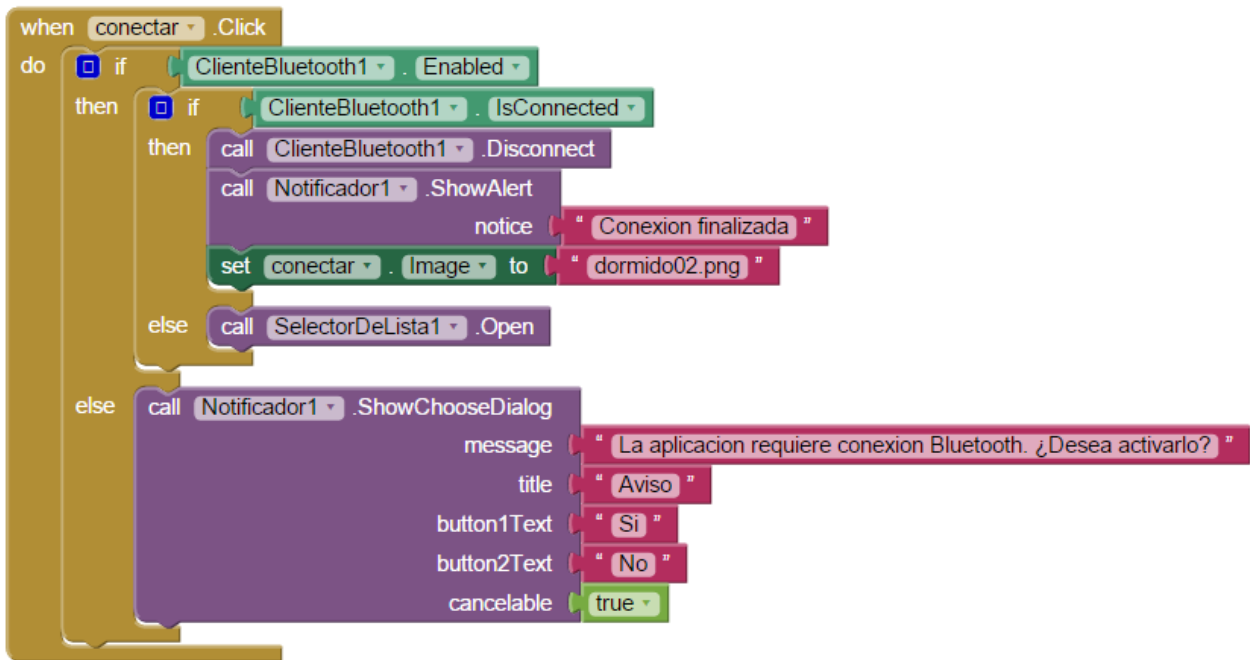














## 7. ANEXOS VII – CALCULOS PROGRAMACION

En el presente anexo se procede a la descripción detallada de los cálculos desarrollados para la correcta configuración del código de programación del KoalaBot Mini.

### 7.1. *Calculos del registro temporizador TIMER1*

La fórmula para determinar los tiempos del Timer1 cuando es utilizado como temporizador es la siguiente:

$$Desbordamiento\_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia\_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

La aplicación requiere que se ejecute una interrupción por desbordamiento del TIMER1 cada 500 ms. Se incluye este valor en la ecuación anterior en segundos (0,5), además de adoptar un preescaler de 8 y fijar la frecuencia del oscilador con un valor de 4 MHz:

$$0,5 = \frac{4}{4.000.000} \times 8 \times (65536 - TMR1)$$

Al despejar, obtenemos una precarga de 3036 para que el TIMER1 cuente hasta 500ms.

### 7.2. *Calculos para la generación de la señal PWM*

Para que el microcontrolador emita una señal PWM se debe configurar el modulo temporizador TIMER2 para fijar la frecuencia deseada de la señal. Para obtener el valor de PR2 necesario para generar una señal de 500 Hz de frecuencia se emplea la siguiente formula:

$$PR2 = [(Fosc)/(4 * TMR2Prescale * PWMFrequency)] - 1$$

Tras ajustar la frecuencia del oscilador a  $Fosc = 4\text{ Mhz}$  junto con un preescaler de 1:16 y fijar la frecuencia deseada de 500 Hz, la formula anterior queda de la siguiente manera:

$$PR2 = [4Mhz/(4 * 16 * 500Hz)] - 1 = 124$$

Al despejar obtenemos un valor de PR2 de 124 para la generación de una señal PWM de 500 Hz.

El ciclo de trabajo deseado es también un valor conocido, por lo que una vez que la frecuencia se establece a través del valor de PR2, el cálculo del ancho de pulso puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$PulseWidth = 4 * (PR2 + 1) * DutyCycleRatio$$

Dado que anteriormente se calculo el valor de PR2 obteniendo un resultado de 124, y asumiendo un ciclo de trabajo del 50 %, entonces:

$$PulseWidth = 4 * (124 + 1) * 0.5 = 250$$

### 7.3. *Calculo del porcentaje de error de baudios*

A continuación se procede a calcular el error de la velocidad de transmisión de la comunicación serie asíncrona, teniendo en cuenta que se empleará un oscilador de frecuencia 4MHz y que la velocidad deseada es de 9600 baudios.

$$Desired\ Baud\ Rate = \frac{F_{osc}}{64(x + 1)}$$

$$9600 = \frac{4000000}{64(x + 1)}$$

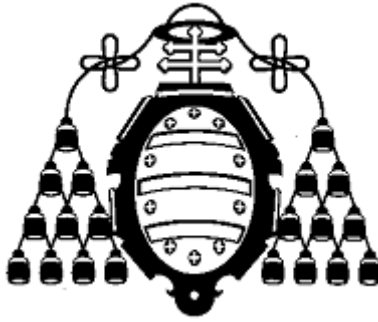
$$x = 5.51$$

$$Calculated\ Baud\ Rate = \frac{4000000}{64(5.5 + 1)} = 9600.61$$

$$Error = \frac{(Calculated\ Baud\ Rate - Desired\ Baud\ Rate)}{Desired\ Baud\ Rate}$$

$$= \frac{9600.61 - 9600}{9600} = 0.006\%$$

Como se puede observar, el error de la velocidad adoptada (9600 baudios) empleando un oscilador de frecuencia 4MHz es infimo.



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO**

# **MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DOCUMENTO III: PLANOS**

## **DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VÍA BLUETOOTH**

**JULIO 2015**

**Alexandra Borja Gonzalo**

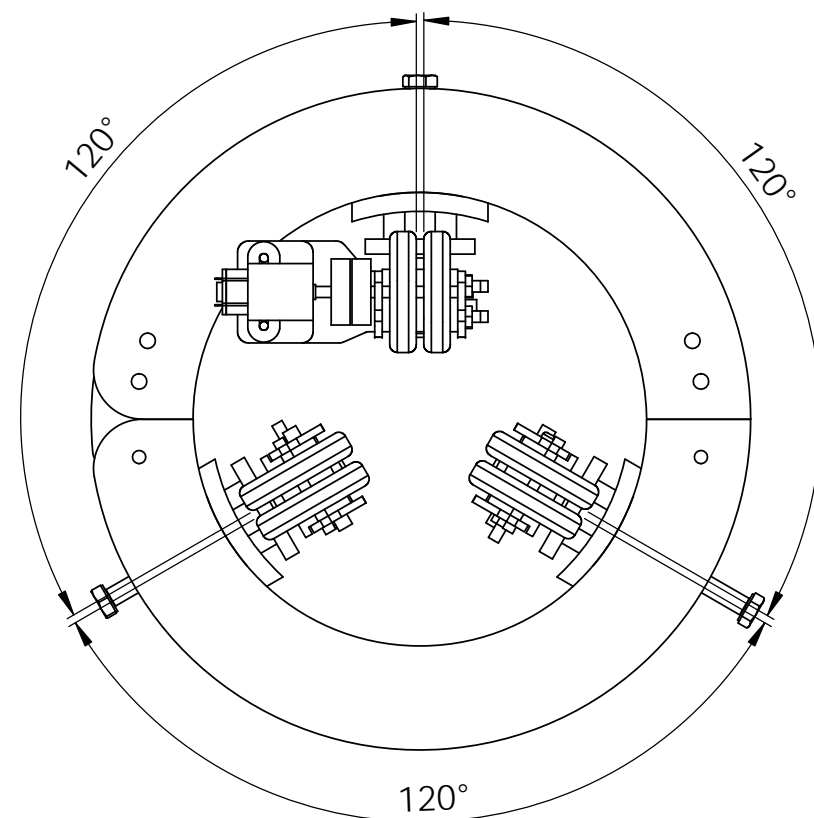
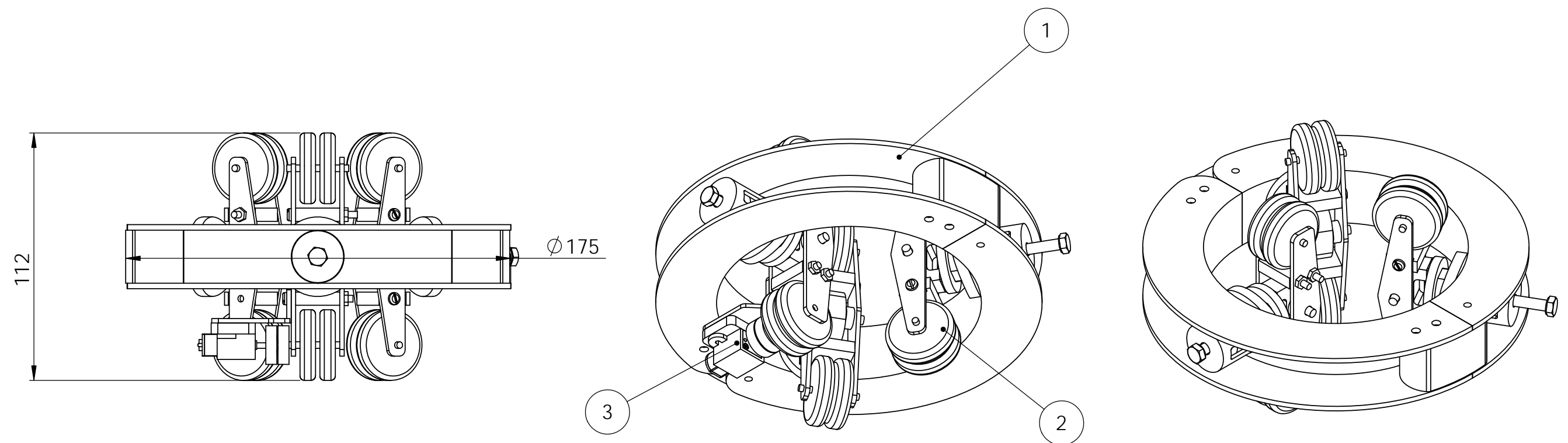
**José Manuel Sierra Velasco**

**Juan Díaz González**

## 1. PLANOS MECÁNICOS

En el presente capítulo se indica la relación de planos mecánicos que componen el presente proyecto, con su correspondiente identificación.

<b><u>Título</u></b>	<b><u>Referencia</u></b>
KoalaBot Mini.....	000.000
Conjunto Estructura Portante.....	100.000
Bisagra.....	100.001
Chasis Izquierdo.....	100.002
Chasis Derecho.....	100.003
Conjunto Brazo Conducido.....	200.000
Subconjunto Patín Conducido.....	201.000
Puente Conducido.....	201.001
Separador Puente Conducido.....	201.002
Subconjunto Tubo Tensor.....	202.000
Alojamiento Tensor.....	202.001
Tensor.....	202.002
Tapón Muelle.....	202.003
Conjunto Brazo Motriz.....	300.000
Subconjunto Patín Motriz.....	301.000
Puente Motriz.....	301.001
Separador Puente Motriz.....	301.002
Soporte Motor.....	301.003
Eje Motriz.....	301.004
Placa Motor.....	301.005
Subconjunto Tubo Tensor.....	202.000
Alojamiento Tensor.....	202.001
Tensor.....	202.002
Tapón Muelle.....	202.003



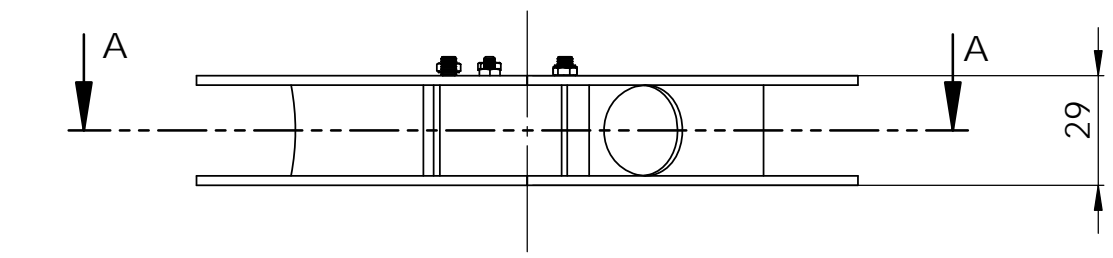
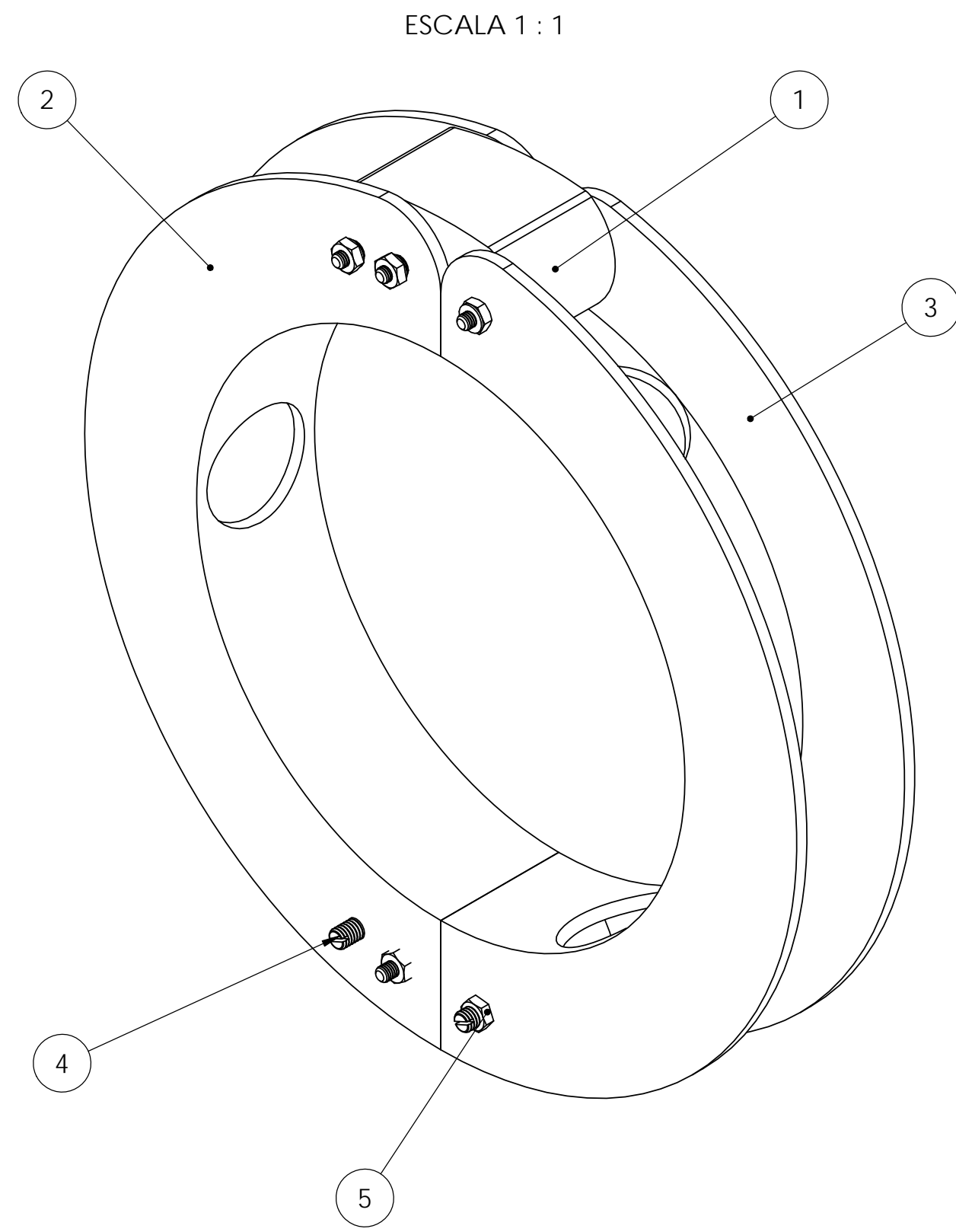
PLATAFORMA ROBÓTICA PARA ASCENSO A POSTES DE 25 A 45 mm DE DIAMETRO, PESO 350 g, CON POTENCIA MÁXIMA INSTALADA DE 5.9 W, VELOCIDAD DE ELEVACION 0,33 m/s Y CON CAPACIDAD DE CONTROL REMOTO INALÁMBRICO.

3	Brazo Motriz	1			300.000	86
2	Brazo Conducido	2			200.000	53
1	Estructura Portante	1			100.000	127
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PLANO	PESO (g)

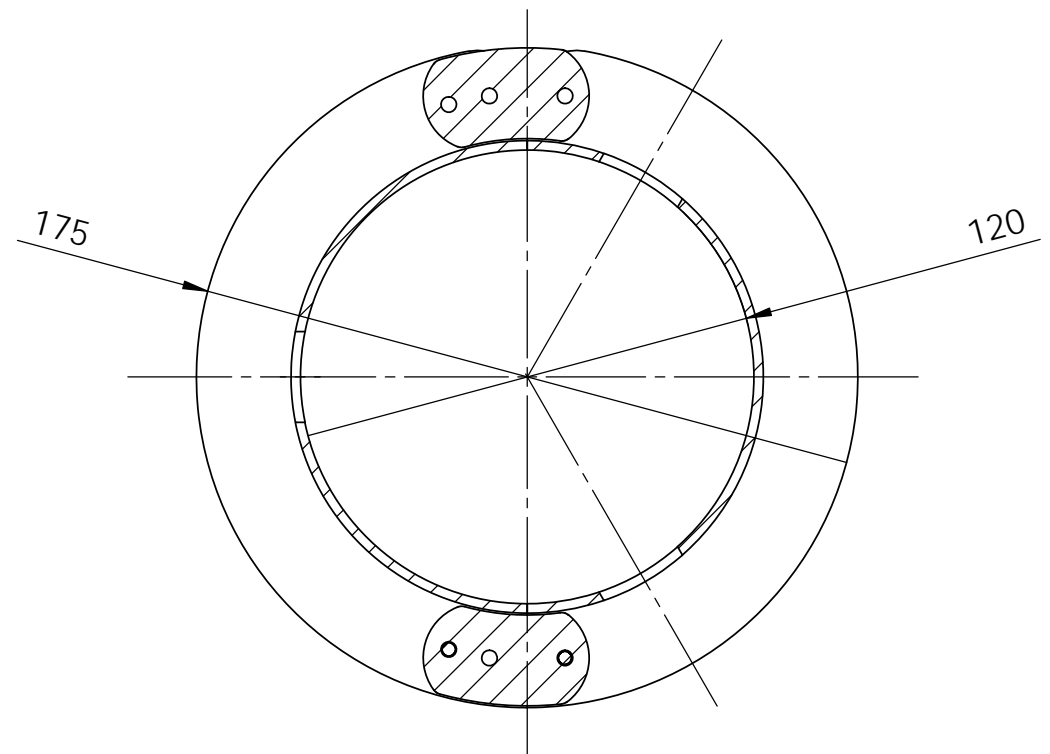
**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		

ESCALA	KoalaBot Mini	PLANO N.º 000.000
1:2		Sustituye a
		Sustituido por

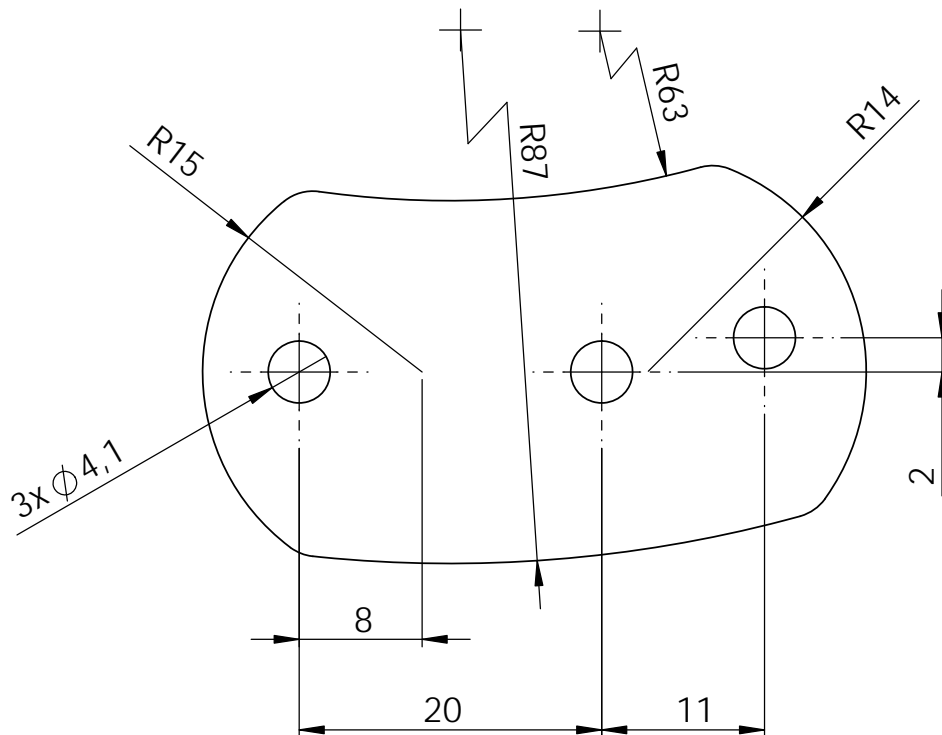
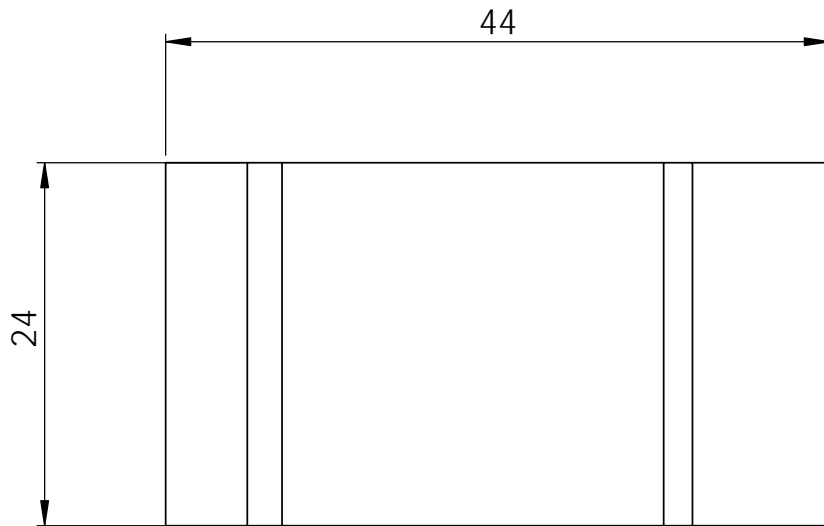


SECCION A-A



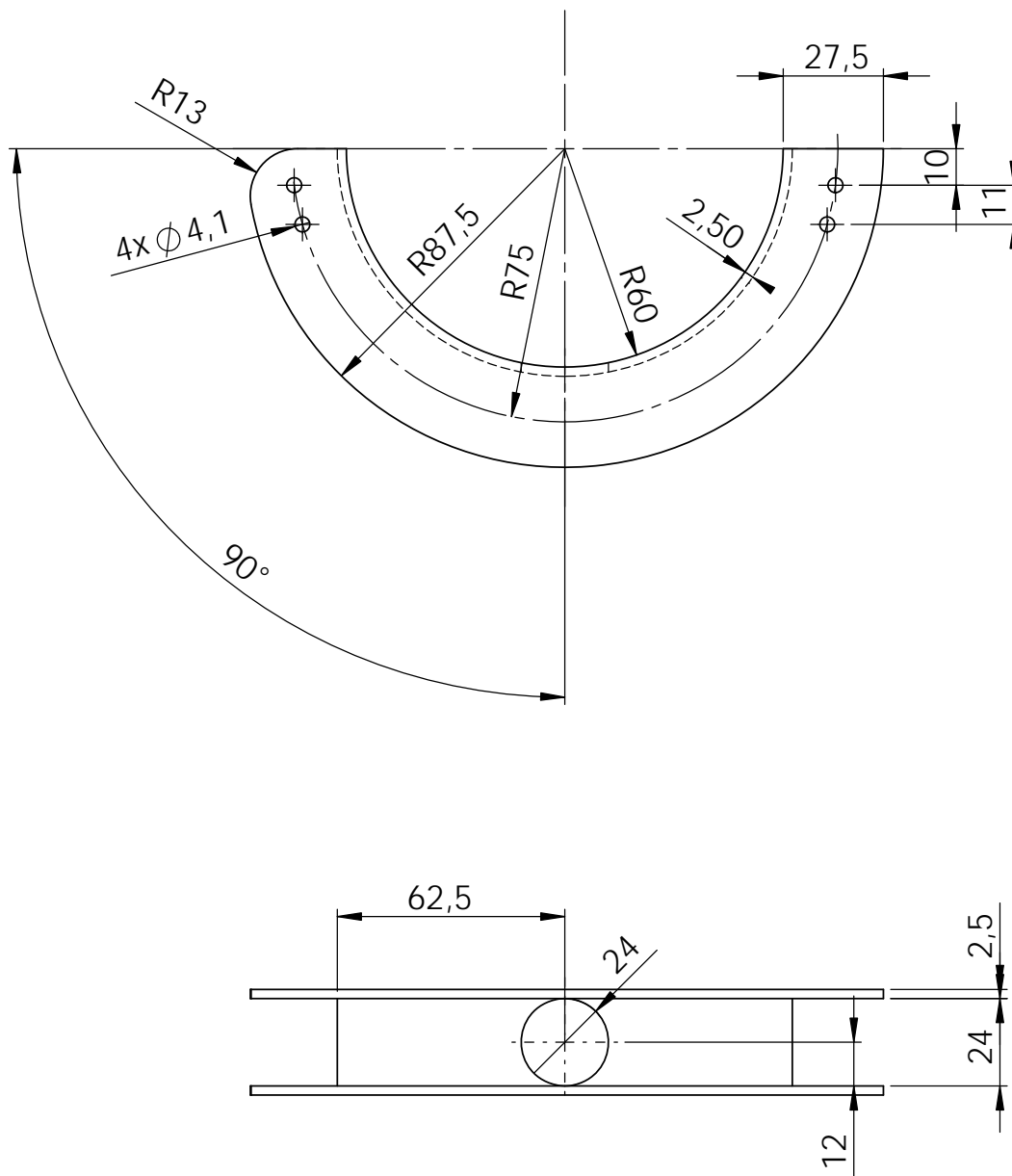
5	Tuerca	6	DIN 934 M3			
4	Tornillo	6	DIN 934 M3x45			
3	Chasis Dcho	1		PVC	100.003	39
2	Chasis Izdo	1		PVC	100.002	36
1	Bisagra	2		Resina VWP	100.001	26
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	PLANO	PESO (g)

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -						
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH		
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
ESCALA					PLANO N°	100.000
1:2	Estructura Portante				Sustituye a	
					Sustituido por	



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

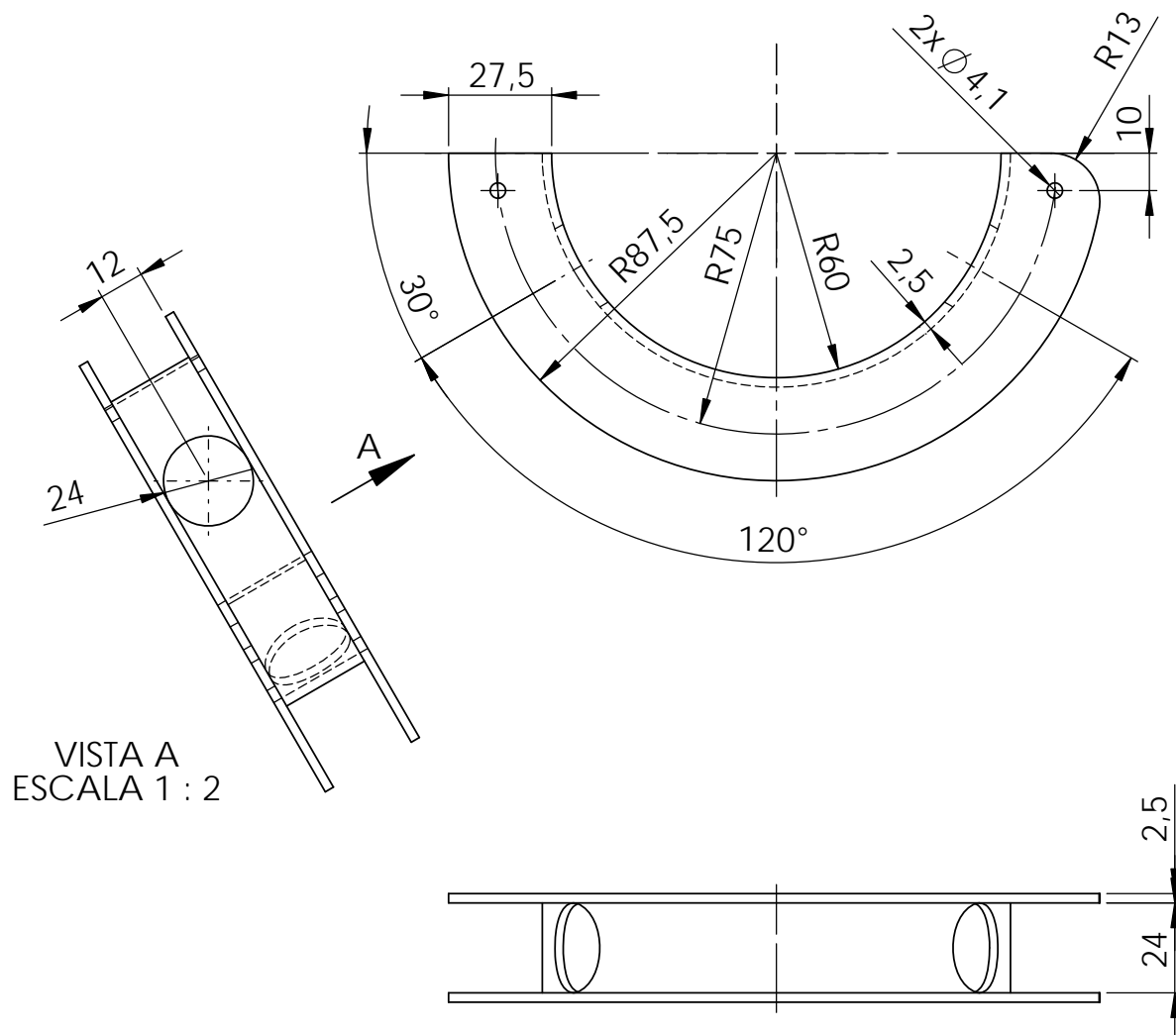
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Bisagra			PLANO N° 100.001
2:1				Sustituye a
				Sustituido por



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Chasis Izquierdo			PLANO N° 100.002
2:1				Sustituye a
				Sustituido por

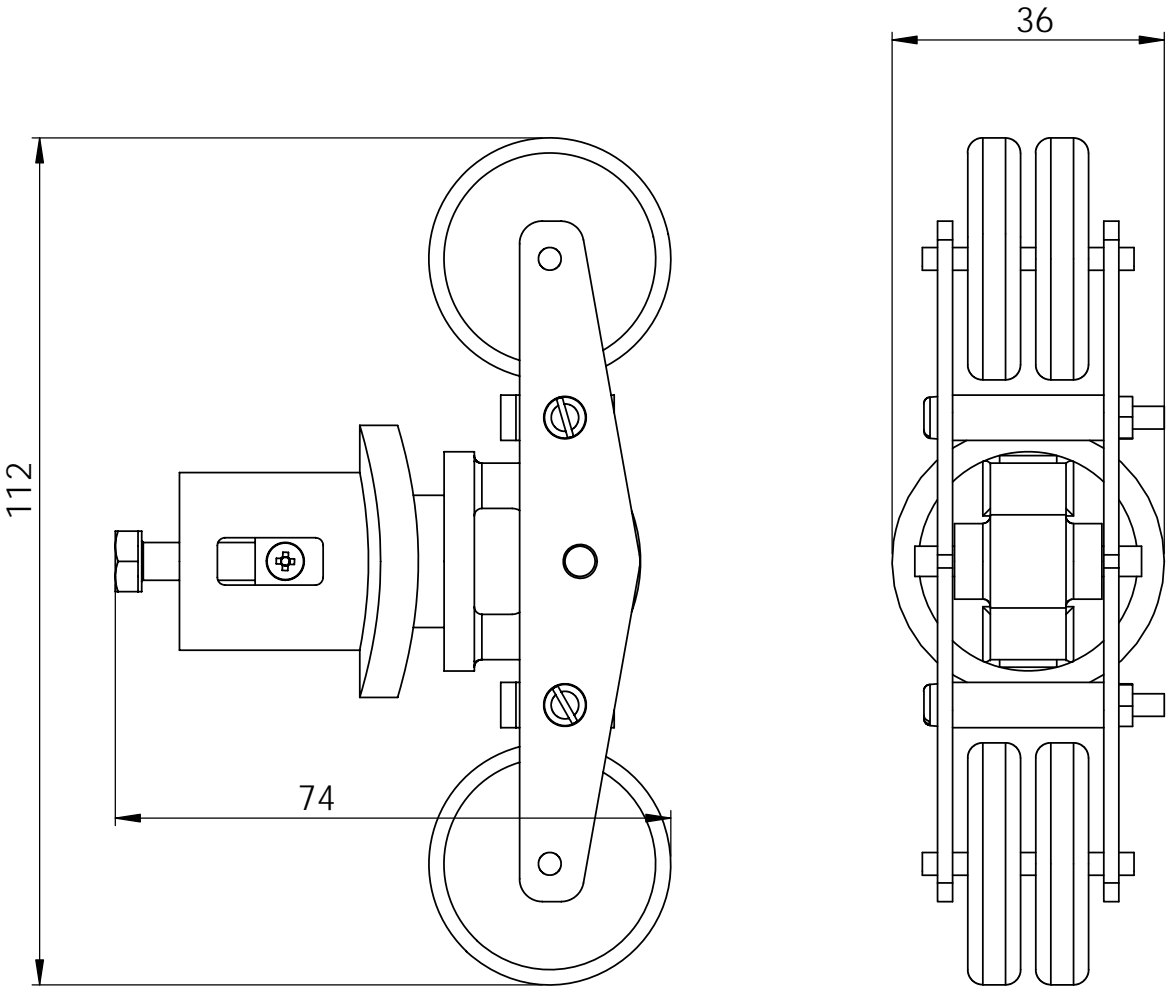
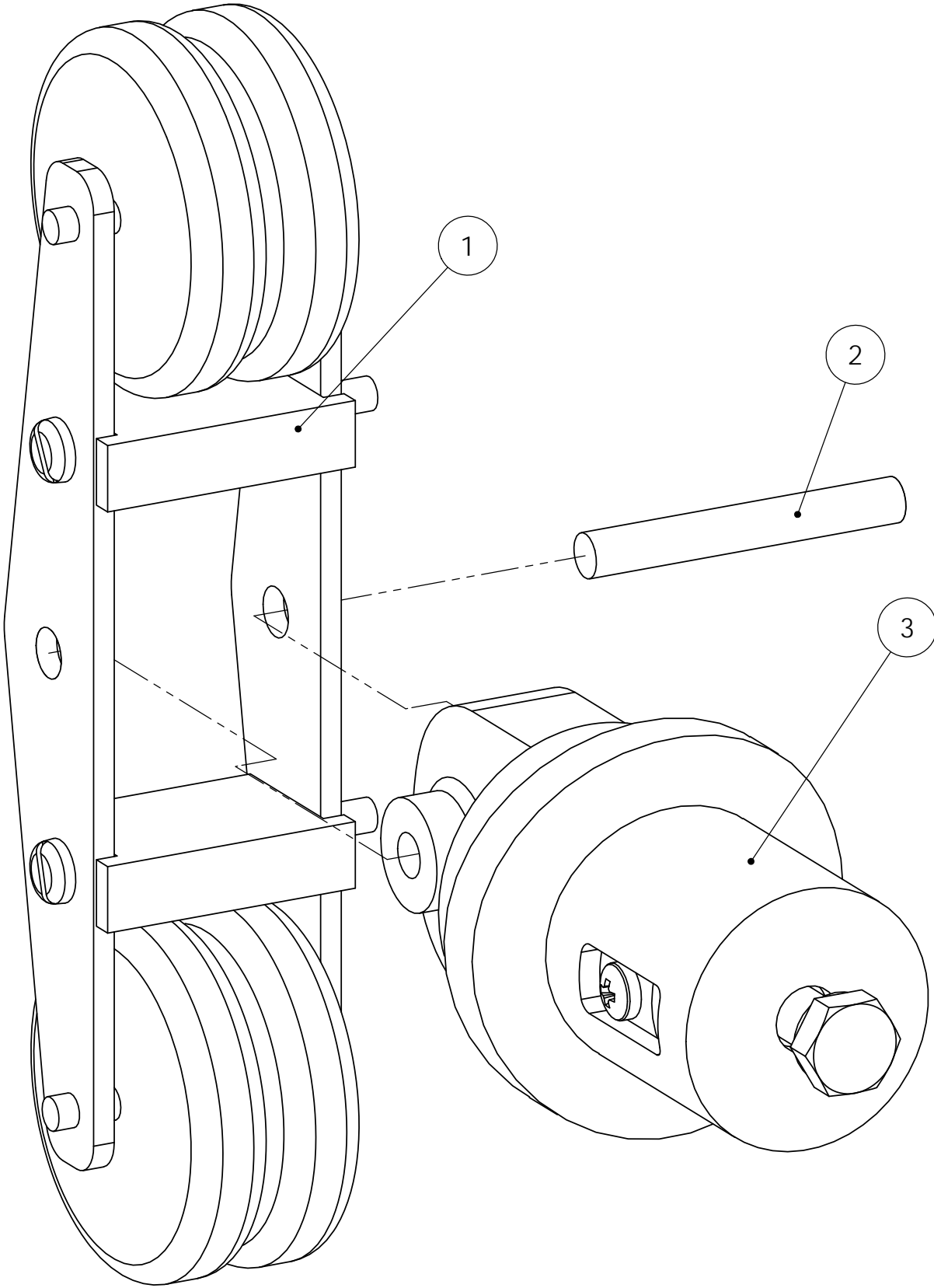




**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

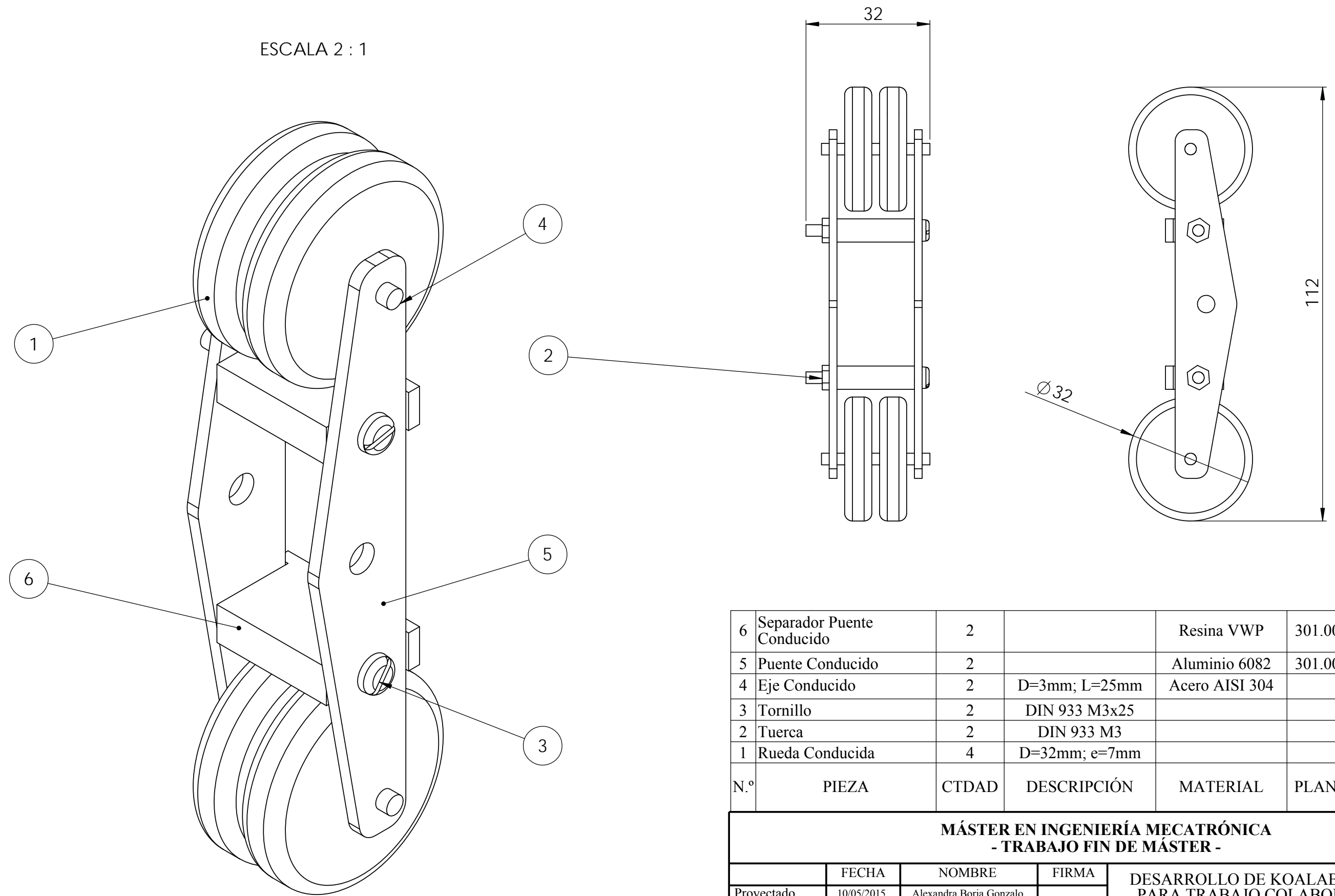
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Chasis Derecho			PLANO N° 100.003
1:2				Sustituye a
				Sustituido por

ESCALA 2:1



3	Tubo Tensor	1			202.000	28
2	Eje Patín	1	D=4 mm; L=30 mm	Acero AISI 304		1
1	Patín Conducido	1			201.000	30
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PLANO	PESO(g)

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -						
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH		
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
ESCALA	Brazo Conducido				PLANO N°	200.000
1:1					Sustituye a	
					Sustituido por	

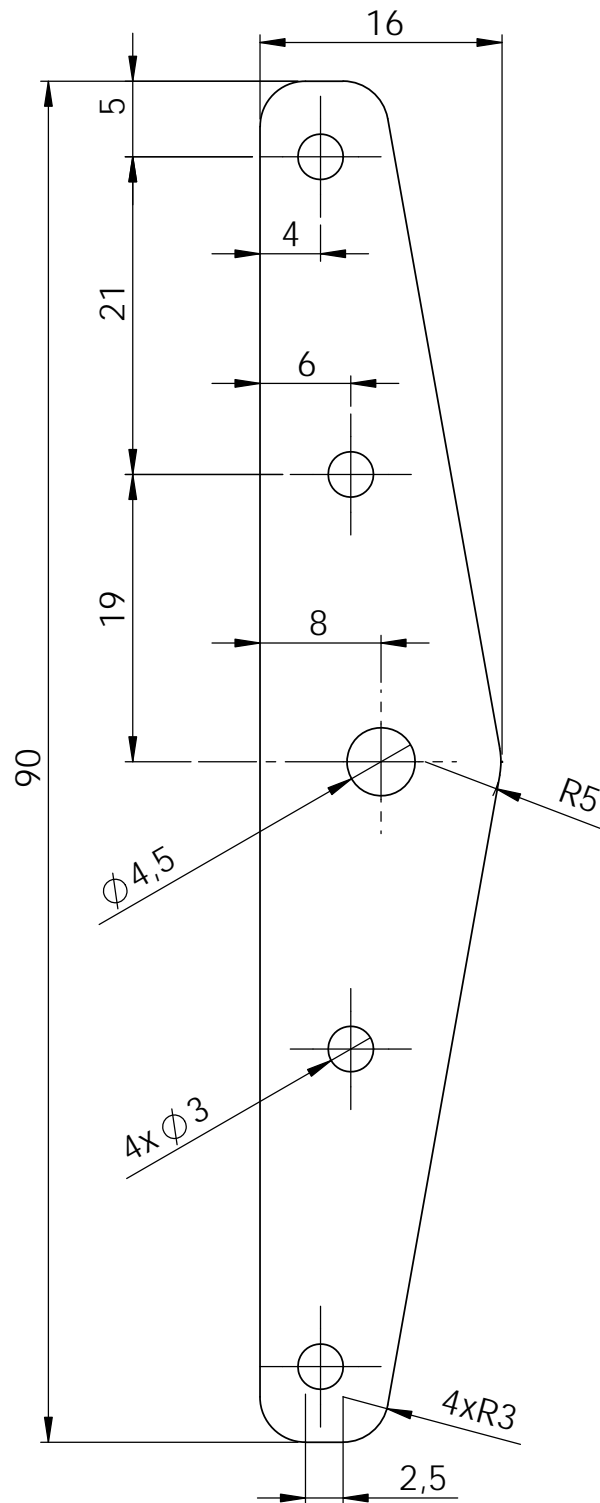


6	Separador Puente Conducido	2		Resina VWP	301.002	2
5	Puente Conducido	2		Aluminio 6082	301.001	5
4	Eje Conducido	2	D=3mm; L=25mm	Acero AISI 304		1
3	Tornillo	2	DIN 933 M3x25			
2	Tuerca	2	DIN 933 M3			
1	Rueda Conducida	4	D=32mm; e=7mm			4
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PLANO	PESO (g)

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -						
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH		
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
ESCALA					PLANO N°	301.000
1:1	Patín Conducido				Sustituye a	
					Sustituido por	

Norma:

Tolerancias según norma DIN ISO 2768-m



Espesor 1.2 mm

**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	

**DESARROLLO DE KOALABOT MINI  
PARA TRABAJO COLABORATIVO  
CON CAPACIDAD DE COMUNICACION  
VIA BLUETOOTH**

ESCALA

2:1

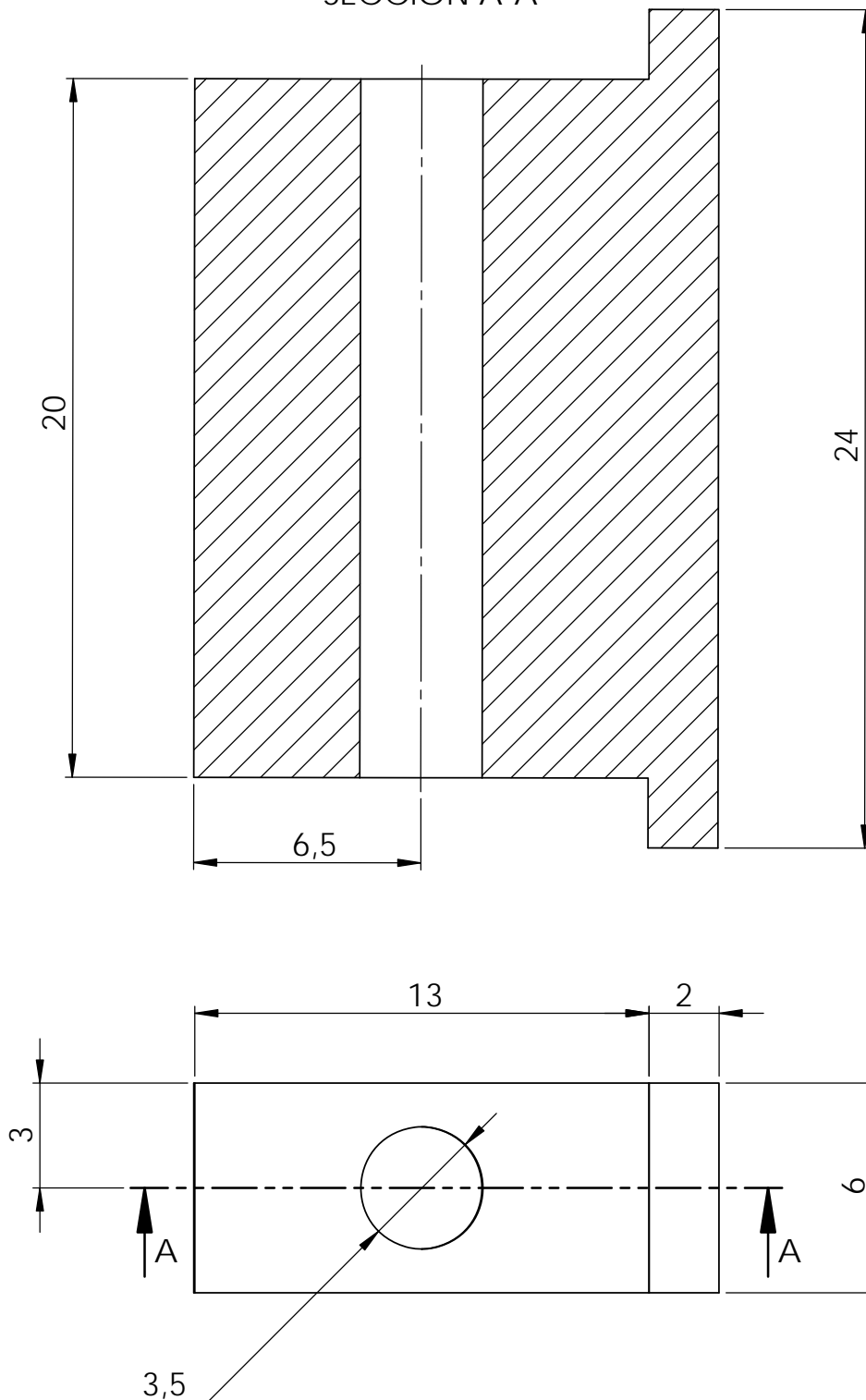
Puente Conducido

PLANO N° 202.001

Sustituye a

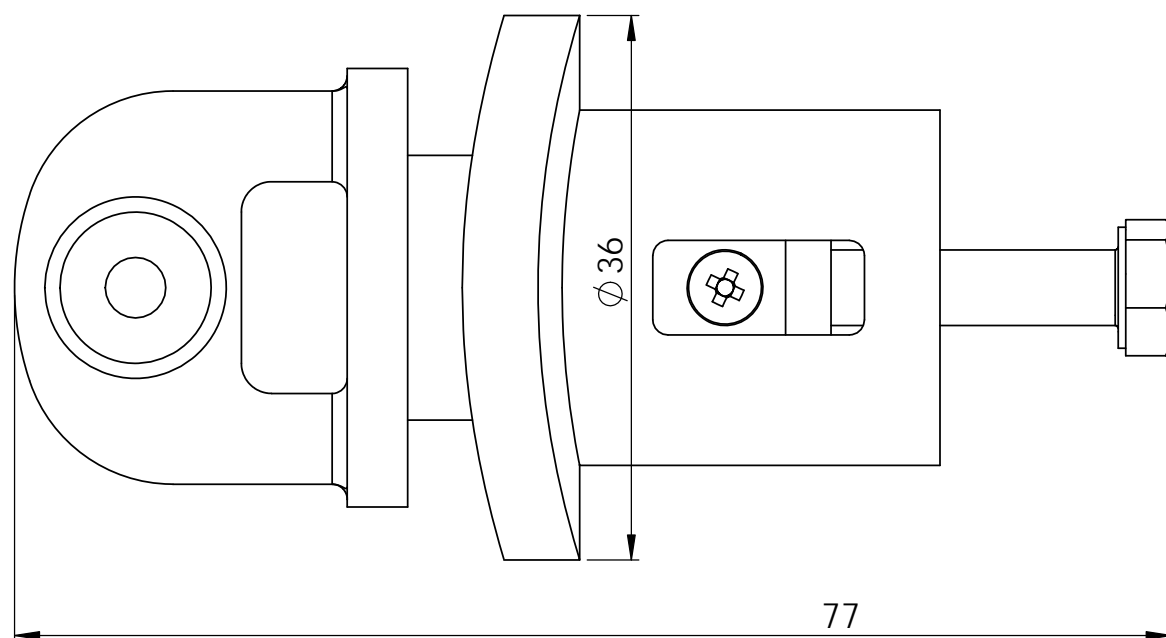
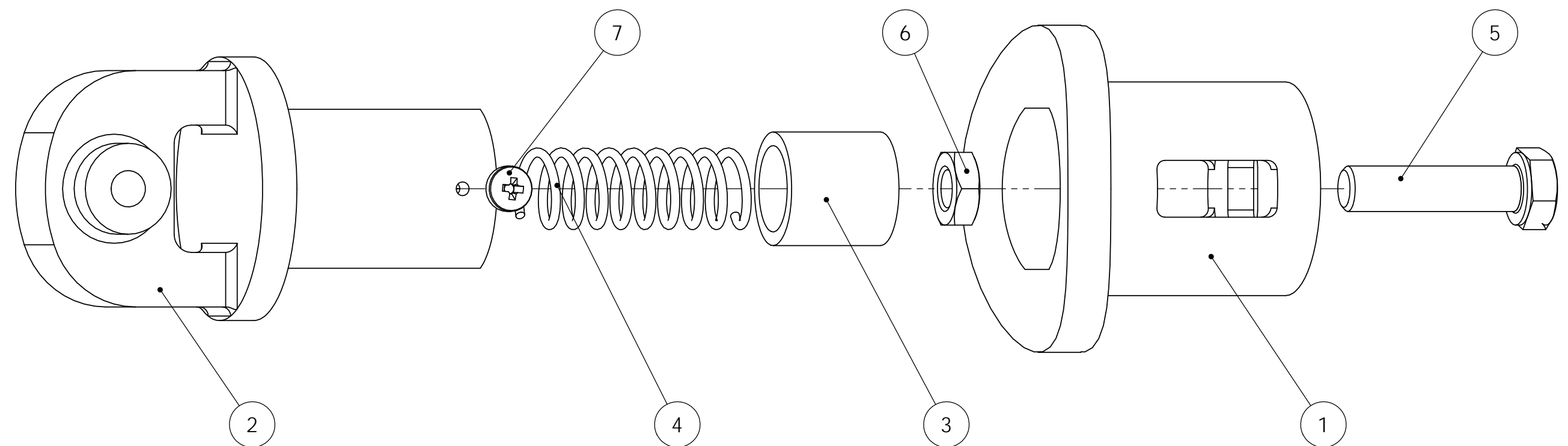
Sustituido por

# SECCIÓN A-A



## MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -

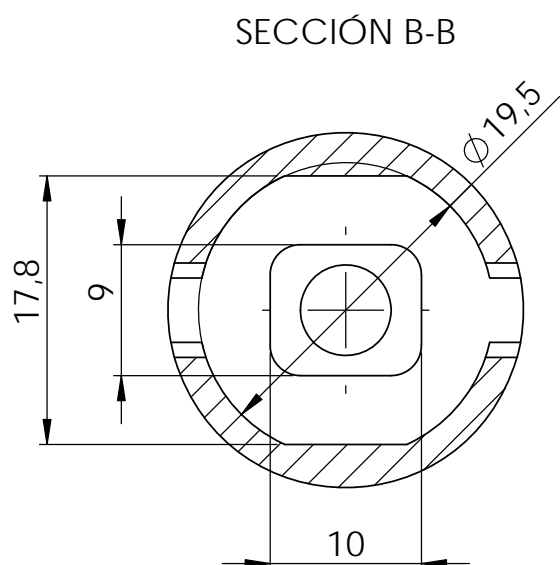
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	5:1 Separador Puente Conducido			PLANO N° 201.002
				Sustituye a
				Sustituido por



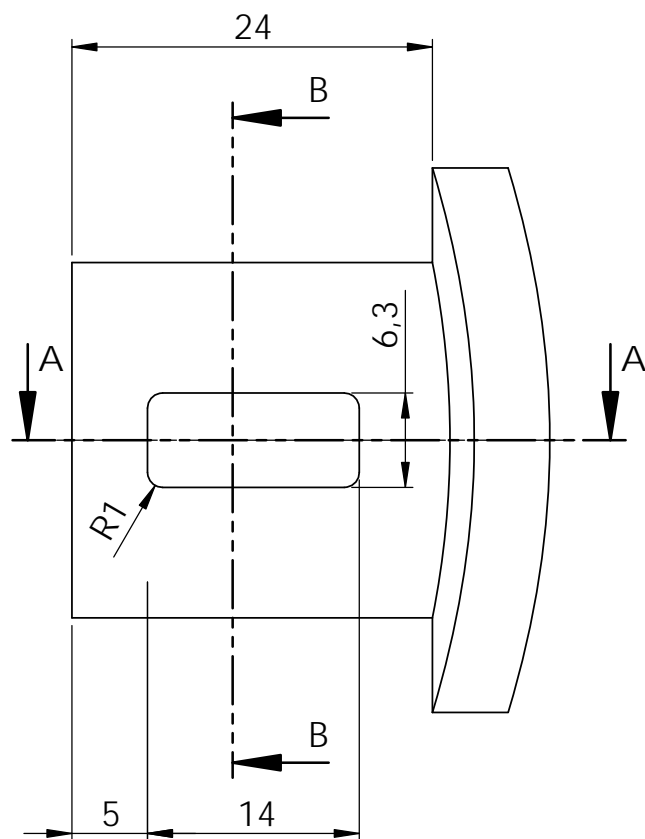
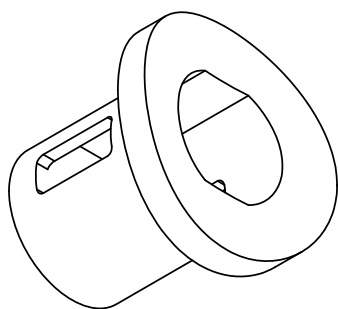
7	Tornillo Tope	2	M2.5x3 DIN 7895			
6	Tuerca	1	M5 DIN 933	-	-	
5	Tornillo Tensor	1	M5x20 DIN 933	-	-	
4	Muelle	1	L=28.5mm D=9mm K=2.33 N/mm	Acero AISI 304		1
3	Tapón Muelle	1		Resina VWP	202.003	1
2	Tensor	1		Resina VWP	202.002	12
1	Alojamiento Tensor	1		Resina VWP	202.001	9
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PLANO	PESO(g)

**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

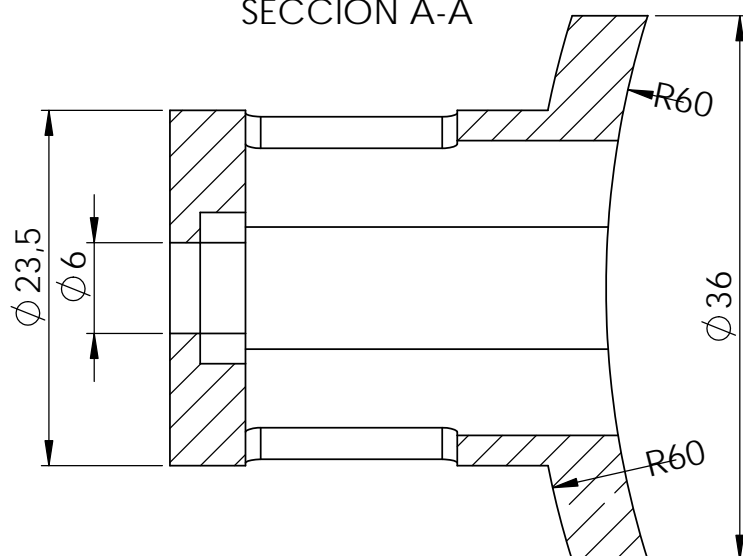
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH		
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
ESCALA					PLANO N°	202.000
2:1	Tubo Tensor				Sustituye a	
					Sustituido por	



ESCALA 1:1



SECCIÓN A-A



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	

**DESARROLLO DE KOALABOT MINI  
PARA TRABAJO COLABORATIVO  
CON CAPACIDAD DE COMUNICACION  
VIA BLUETOOTH**

ESCALA

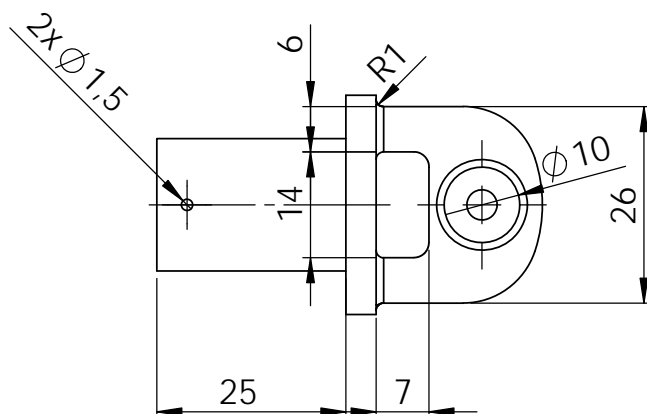
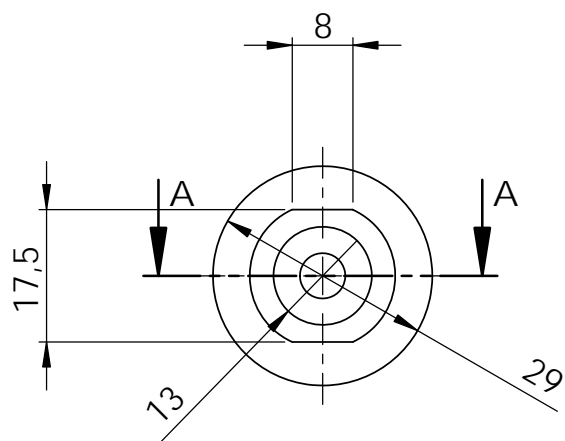
**2:1**

**Alojamiento Tensor**

PLANO N° 202.001

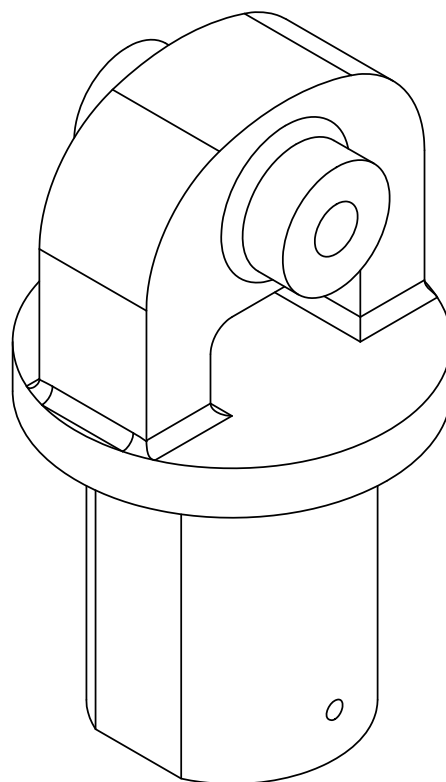
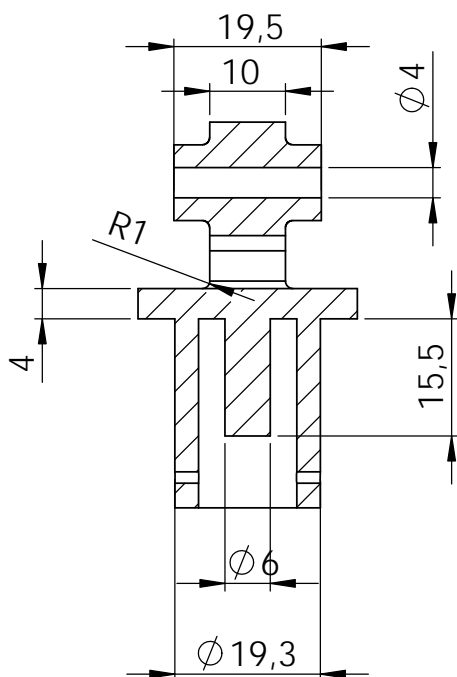
Sustituye a

Sustituido por



SECCIÓN A-A

ESCALA 2:1



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	

**DESARROLLO DE KOALABOT MINI  
PARA TRABAJO COLABORATIVO  
CON CAPACIDAD DE COMUNICACION  
VIA BLUETOOTH**

ESCALA

**1:1**

**Tensor**

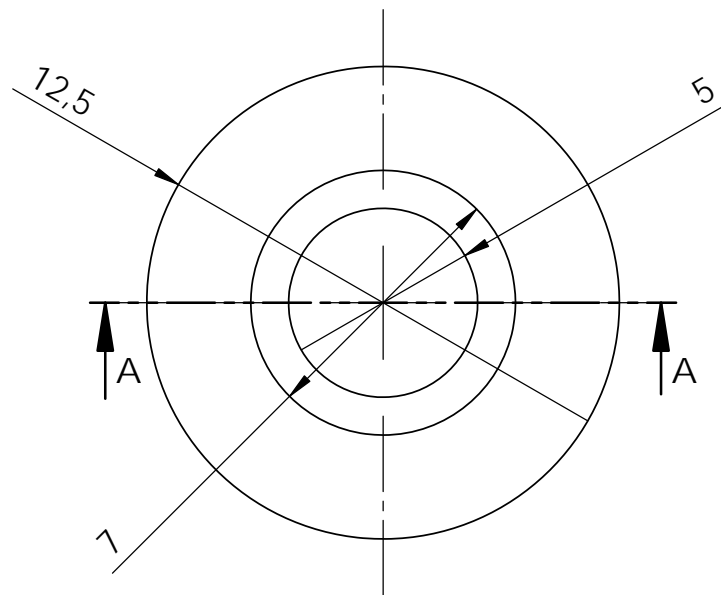
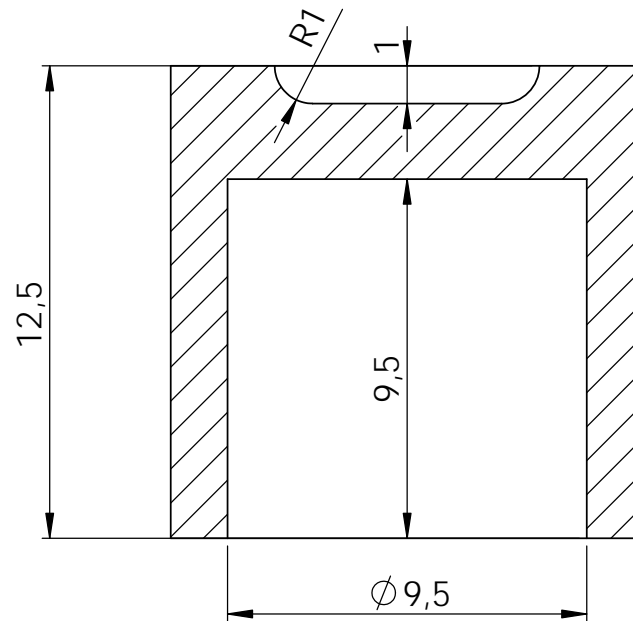
PLANO N° 202.002

Sustituye a

Sustituido por



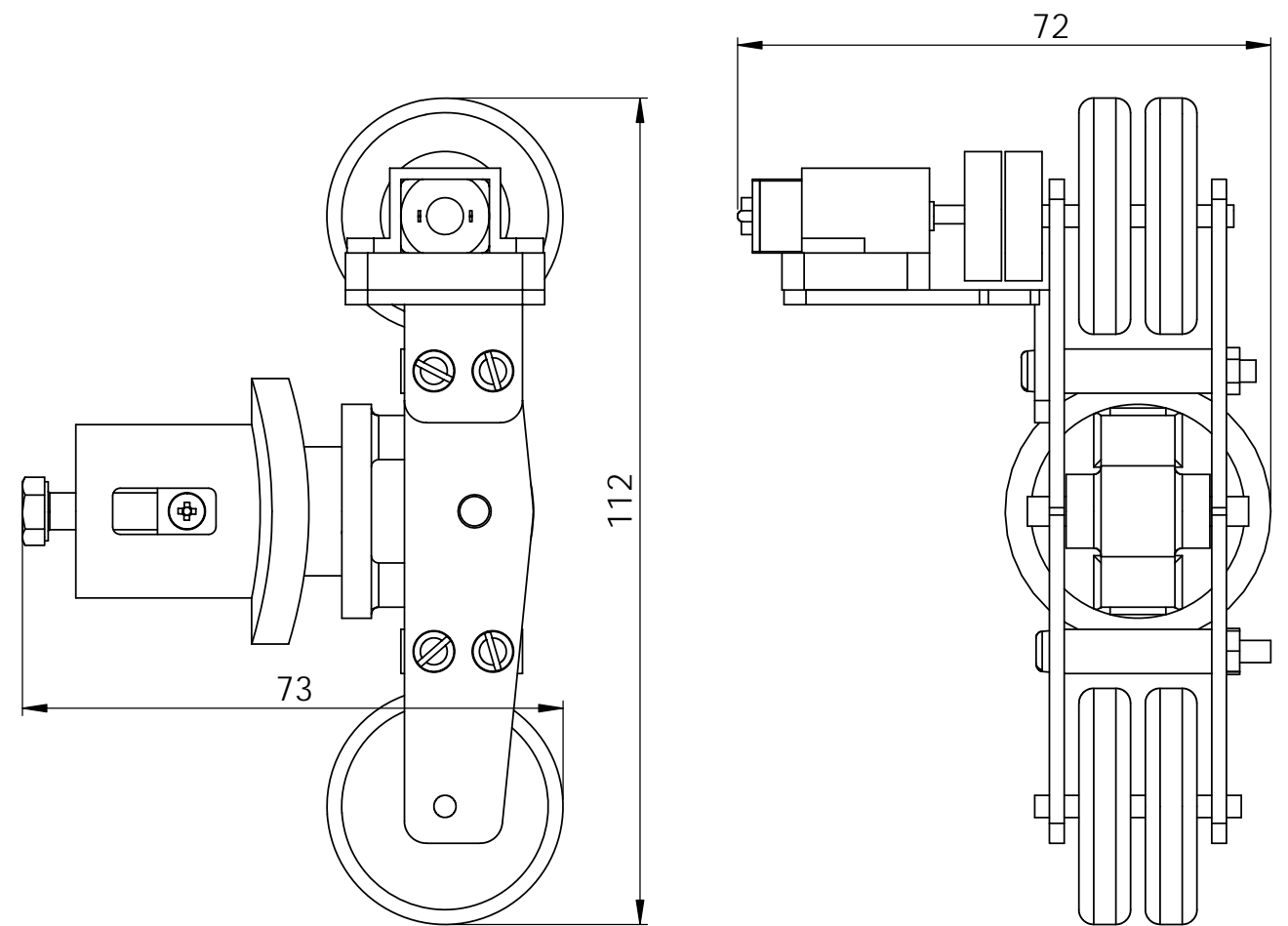
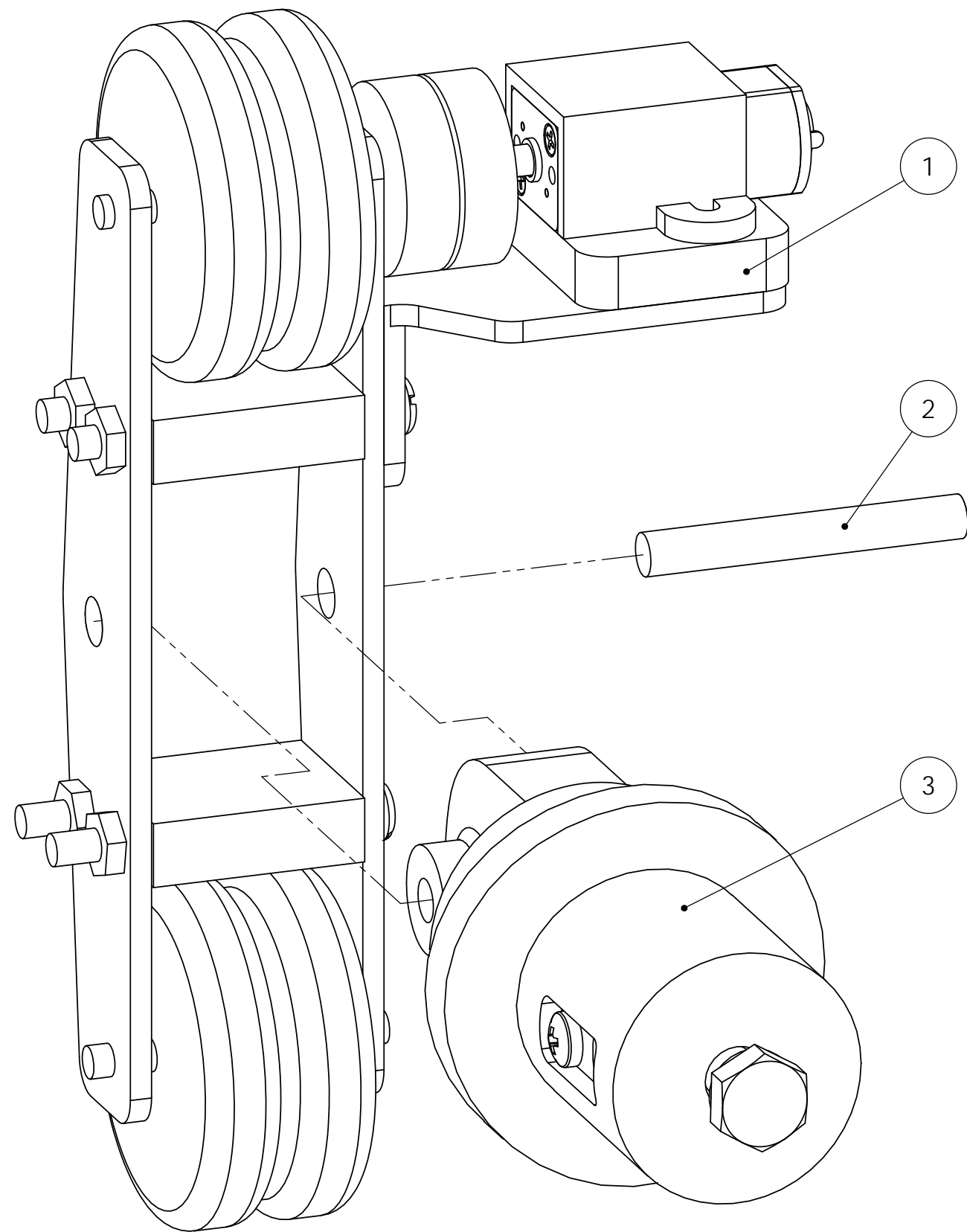
# SECCIÓN A-A



## MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -

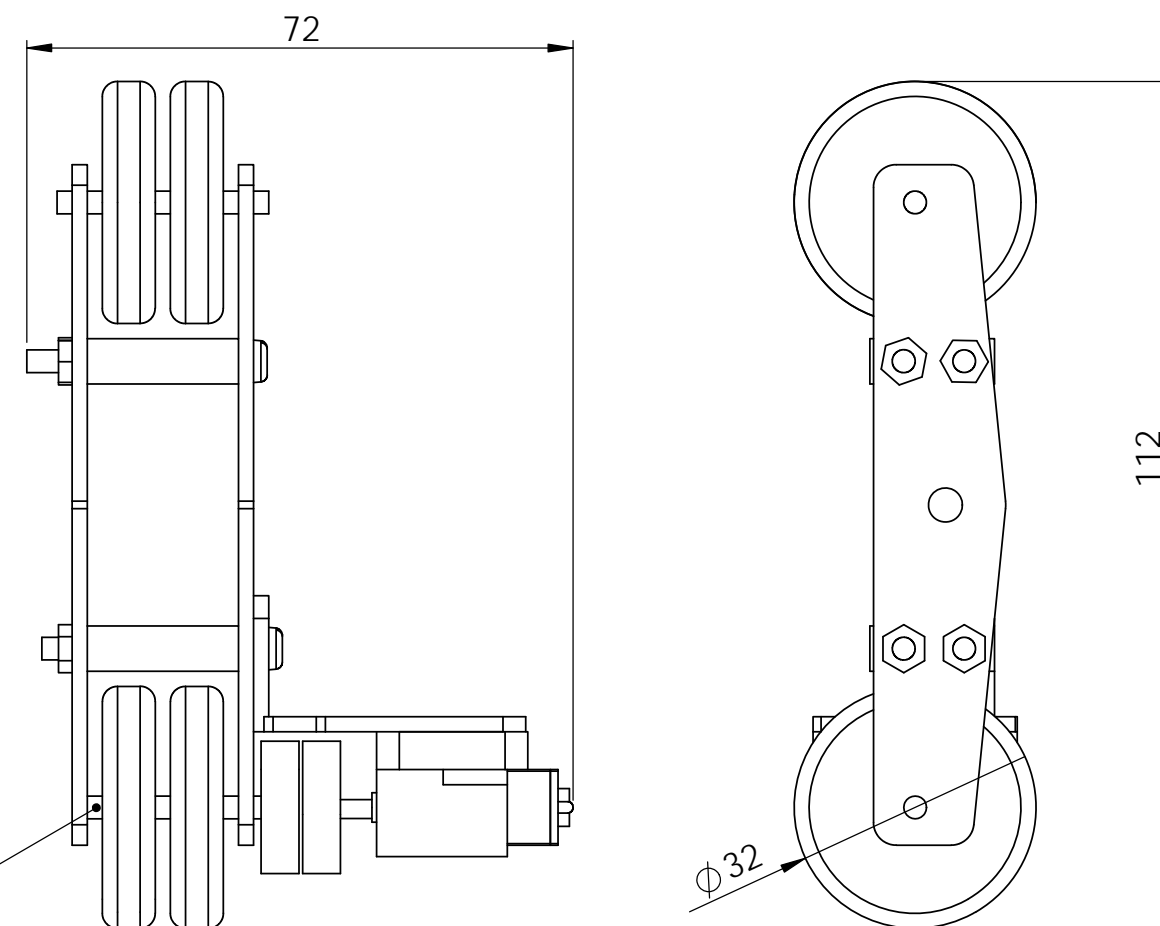
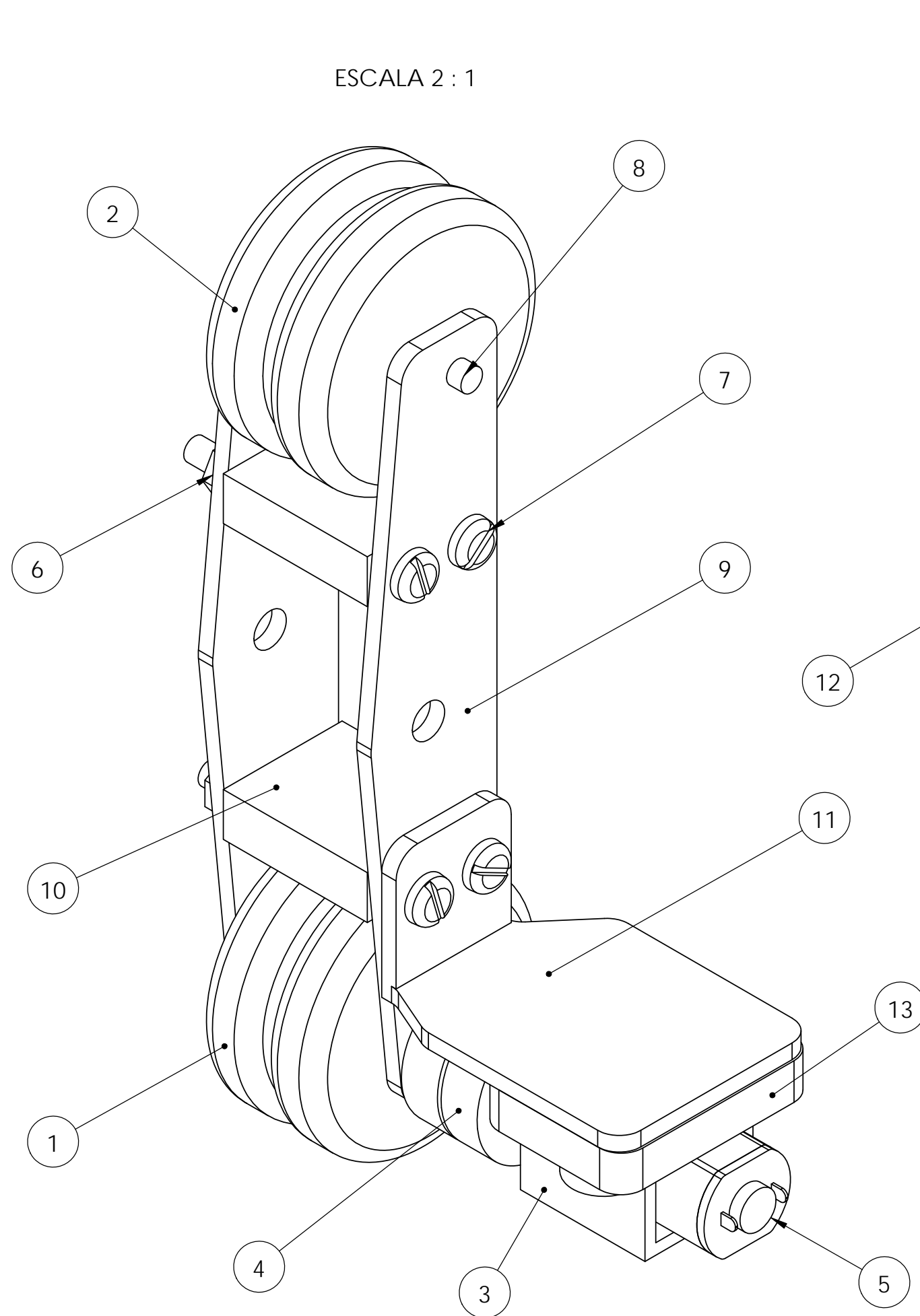
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Tapón Muelle			PLANO N° 202.003
5:1				Sustituye a
				Sustituido por

ESCALA 2:1



3	Tubo Tensor	1			202.000	
2	Eje Patín	1	D=4 mm, L=30 mm	Acero AISI 304		
1	Patín Motriz	1			301.000	
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PLANO	PESO

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -						
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH		
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo				
ESCALA	Brazo Motriz				PLANO N°	300.000
1:1					Sustituye a	
					Sustituido por	



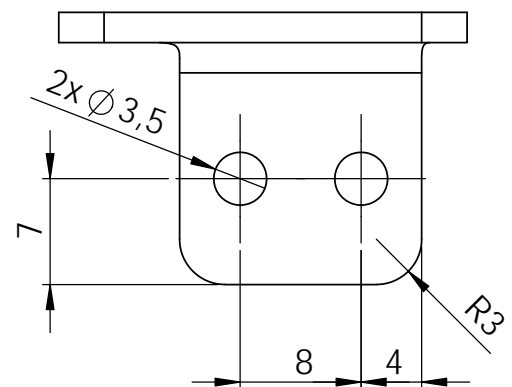
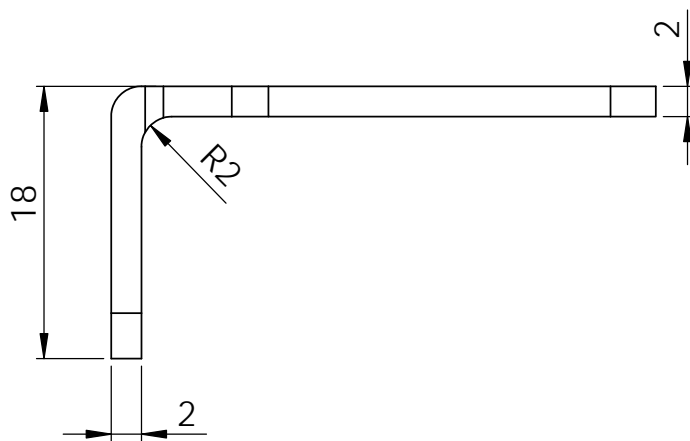
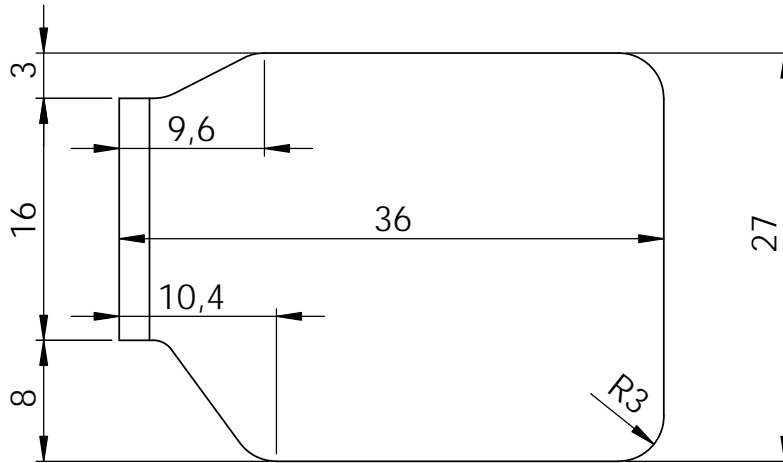
13	Placa Motor	1		Resina VWP	301.005	3
12	Eje Motriz	1	D=3mm; L=40mm; Seccion D	Acero AISI 304	301.004	1
11	Soporte Motor	1		Acero AISI 304	301.003	19
10	Separador Puente Motriz	2		Resina VWP	301.002	3
9	Puente Motriz	2		Aluminio 6082	301.001	6
8	Eje Conducido	1	D=3mm; L=25mm	Acero AISI 304		1
7	Tornillo	4	DIN 933 M3x25			
6	Tuerca	4	DIN 933 M3			
5	MicroMetal GearMotor	1	Pot=5,9W; 200rpm; 0,28Nm			10
4	Acoplamiento Motor	1	Dint=3mm			11
3	Carcasa Motor	1				1
2	Rueda Conducida	2	D=32mm; e=7mm			4
1	Rueda Motriz	2	D=32mm; e=7mm; Seccion D			4
N.º	PIEZA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PLANO	PESO (g)

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Patín Motriz			PLANO N° 301.000
1:1				Sustituye a
				Sustituido por

Norma:

Tolerancias según norma DIN ISO 2768-m



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	

**DESARROLLO DE KOALABOT MINI  
PARA TRABAJO COLABORATIVO  
CON CAPACIDAD DE COMUNICACION  
VIA BLUETOOTH**

ESCALA

**2:1**

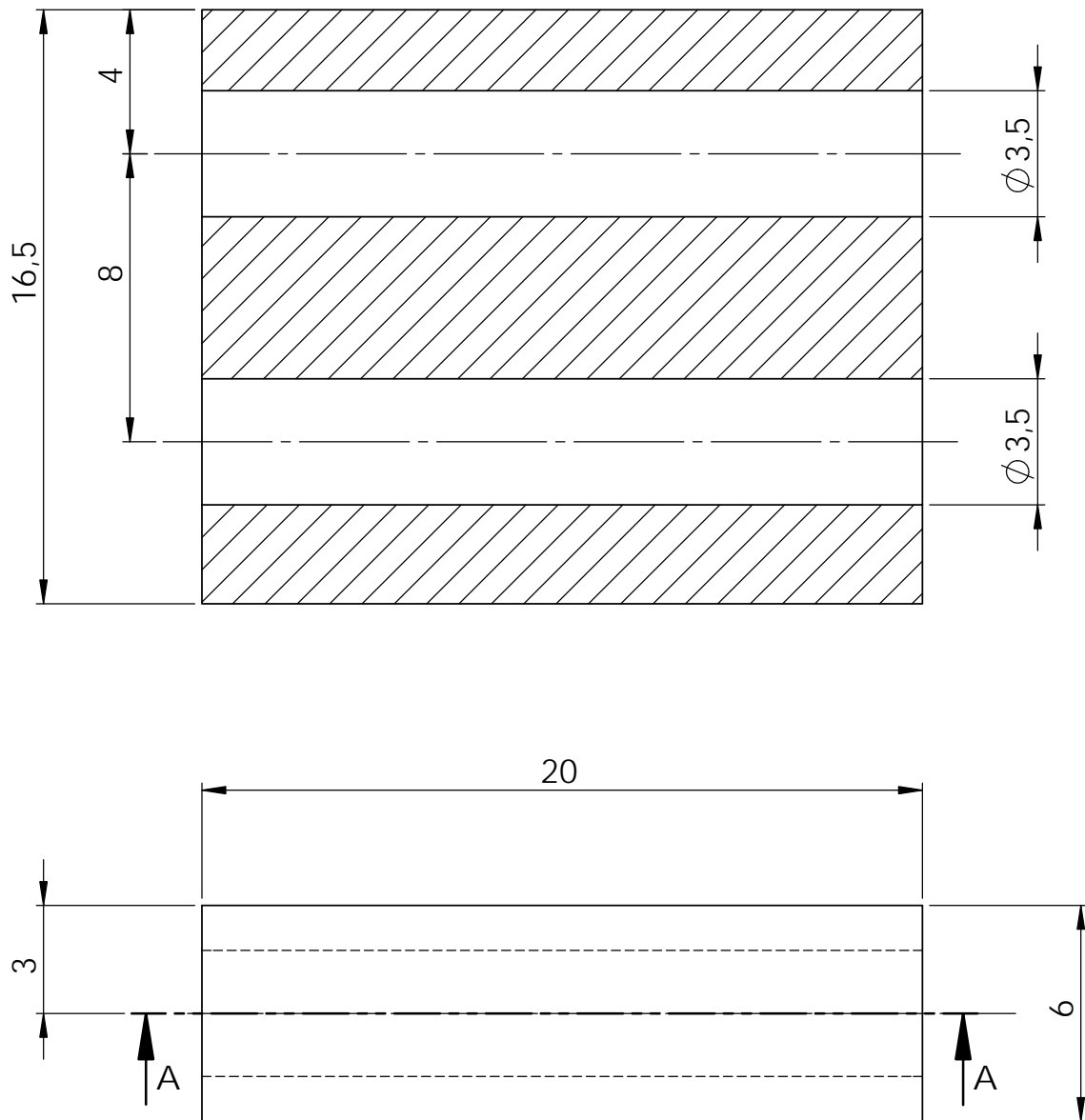
**Soporte Motor**

PLANO N° 301.001

Sustituye a

Sustituido por

# SECCIÓN A-A

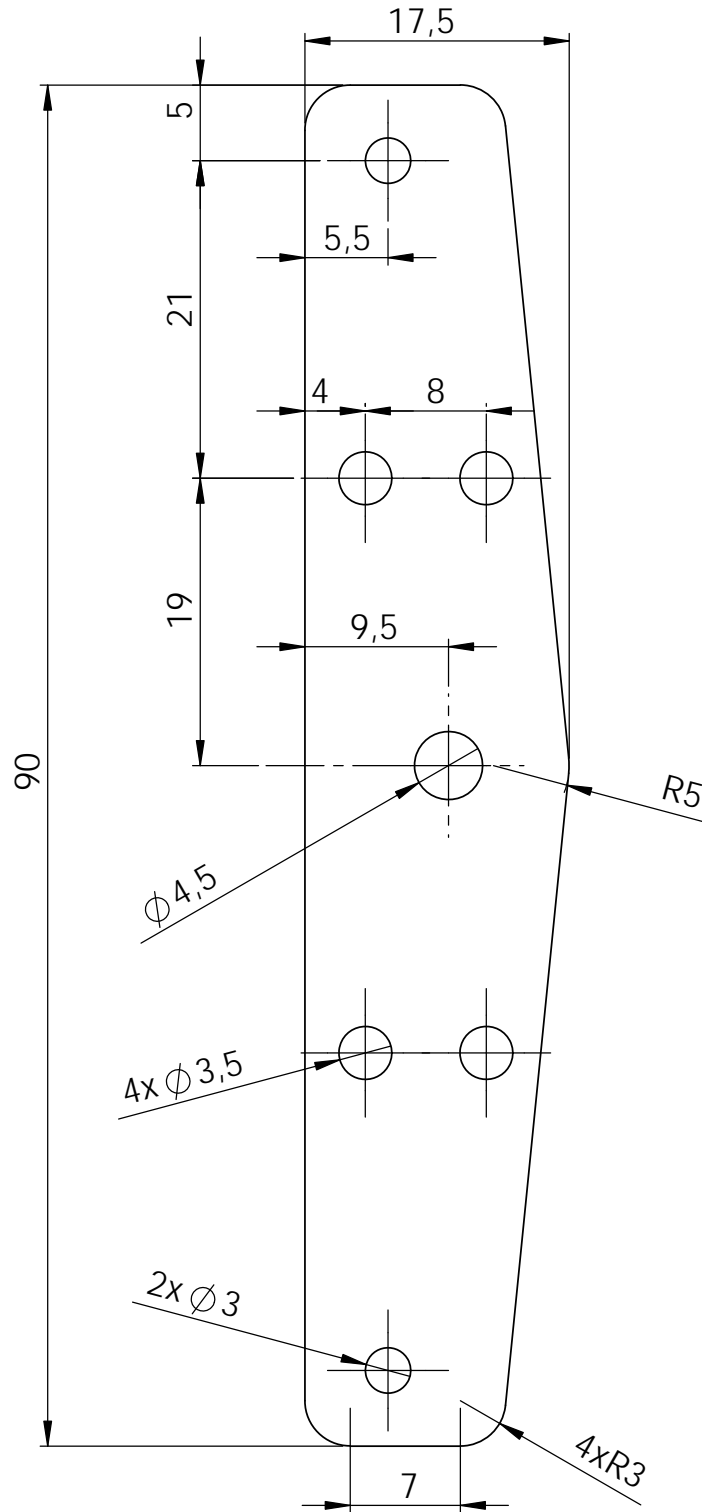


## MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Separador Puente Motriz			PLANO N° 301.004
5:1				Sustituye a
				Sustituido por

Norma:

Tolerancias según norma DIN ISO 2768-m



Espesor 1.2mm

**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo	

**DESARROLLO DE KOALABOT MINI  
PARA TRABAJO COLABORATIVO  
CON CAPACIDAD DE COMUNICACION  
VIA BLUETOOTH**

ESCALA

2:1

Puente Motriz

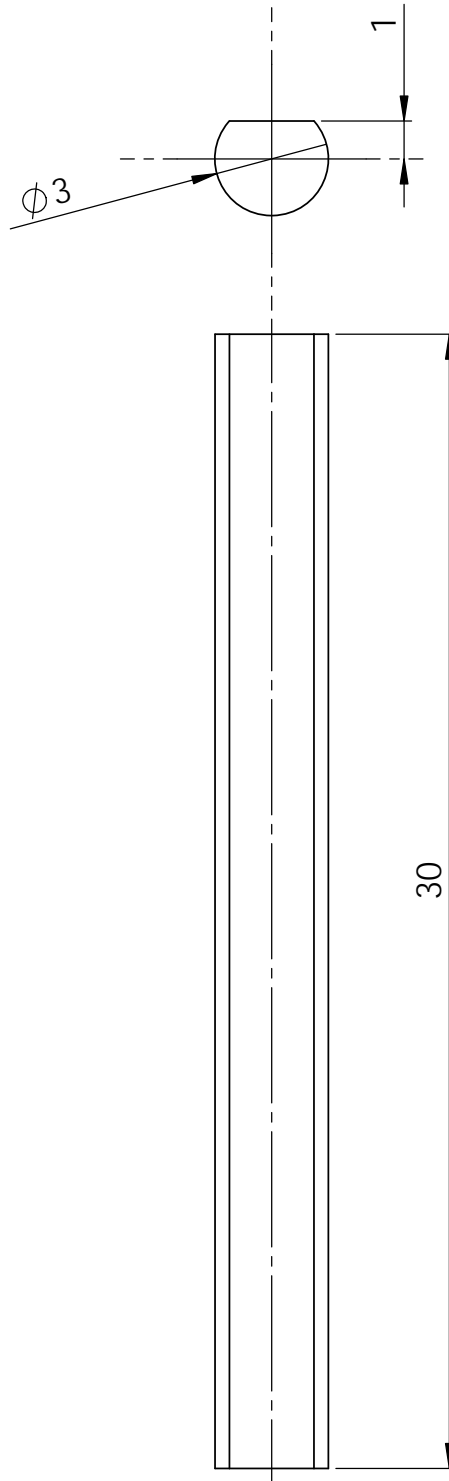
PLANO N° 301.003

Sustituye a

Sustituido por

Norma:

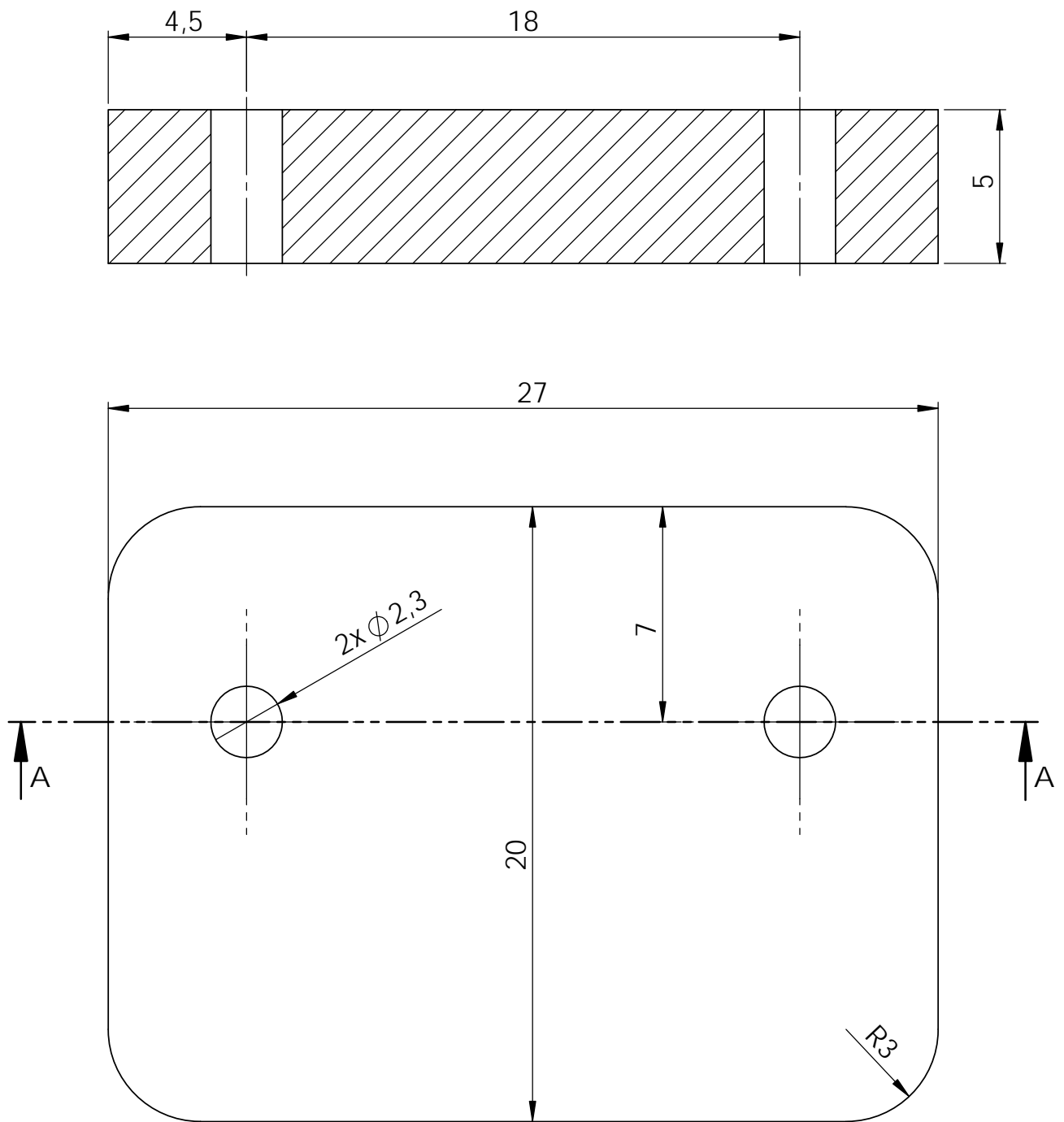
Tolerancias según norma DIN ISO 2768-m



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Eje Motriz			PLANO N° 301.004
5:1				Sustituye a
				Sustituido por

# SECCIÓN A-A



## MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -

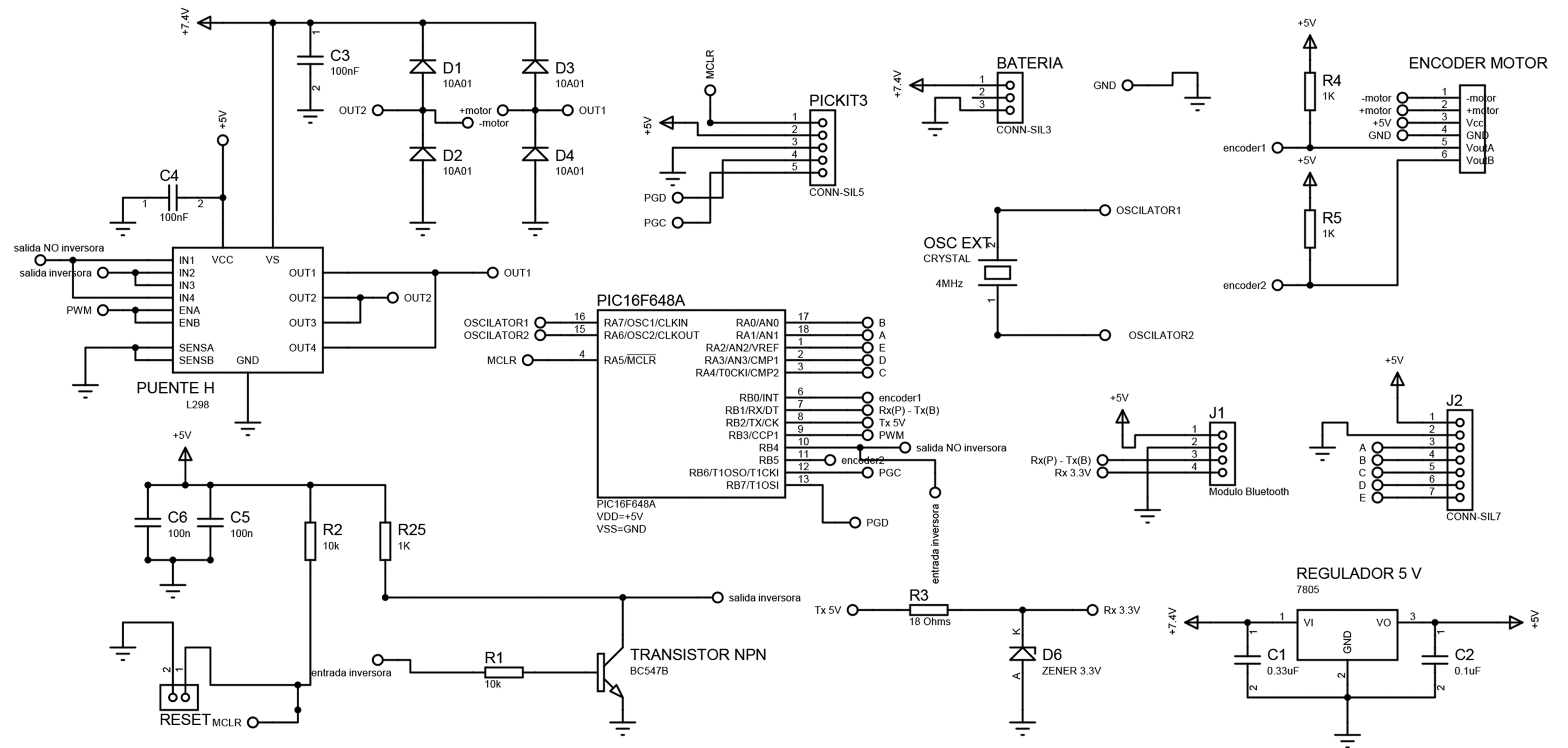
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Placa Motor			PLANO N° 301.005
5:1				Sustituye a
				Sustituido por



## 2. PLANOS ELECTRÓNICOS

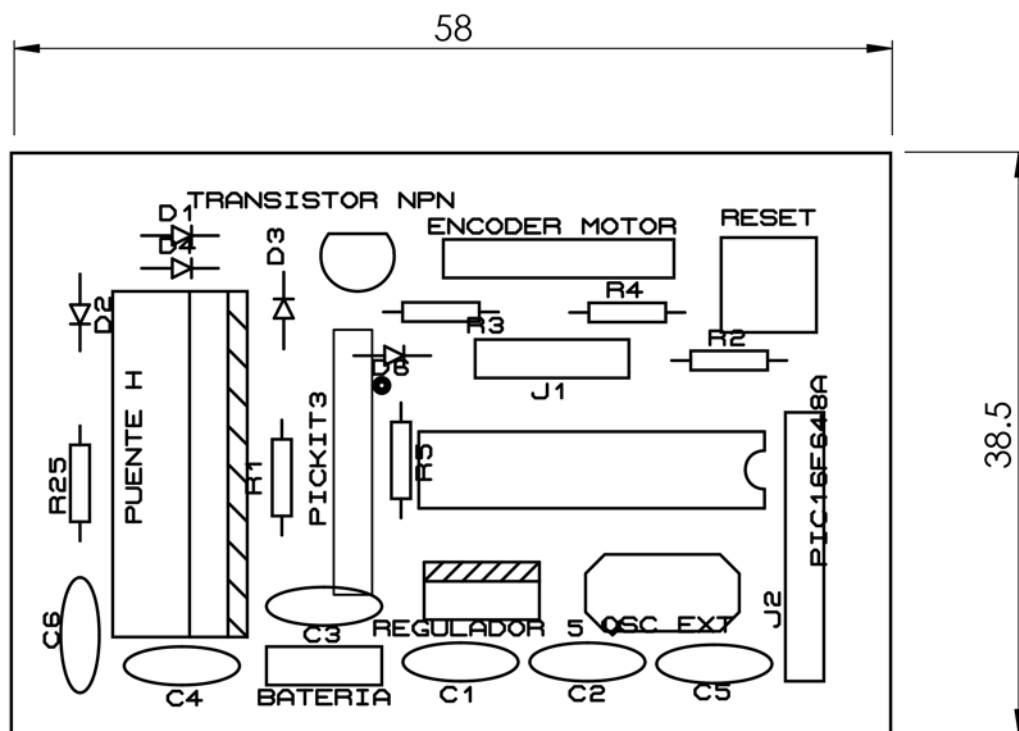
En el presente capítulo se indica la relación de planos electrónicos que componen el presente proyecto, con su correspondiente identificación.

<b><u>Título</u></b>	<b><u>Referencia</u></b>
Placa Principal (PP)	
Circuito esquemático.....	400.001
Plano de situación.....	400.002
Placa PCB – Top.....	400.003
Placa PCB - Bottom.....	400.004
Placa de Ampliación (PA)	
Circuito esquemático.....	500.001
Plano de situación.....	500.002
Placa PCB – Top.....	500.003
Placa PCB - Bottom.....	500.004



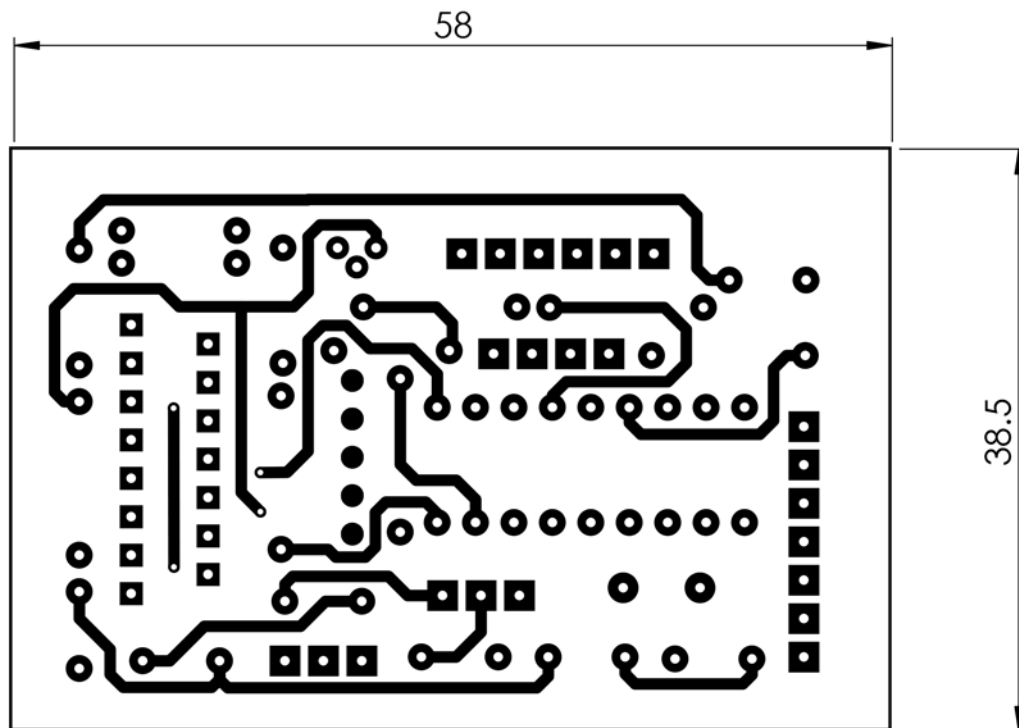
**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Circuito Esquemático PP			PLANO N° 400.001
				Sustituye a
				Sustituido por



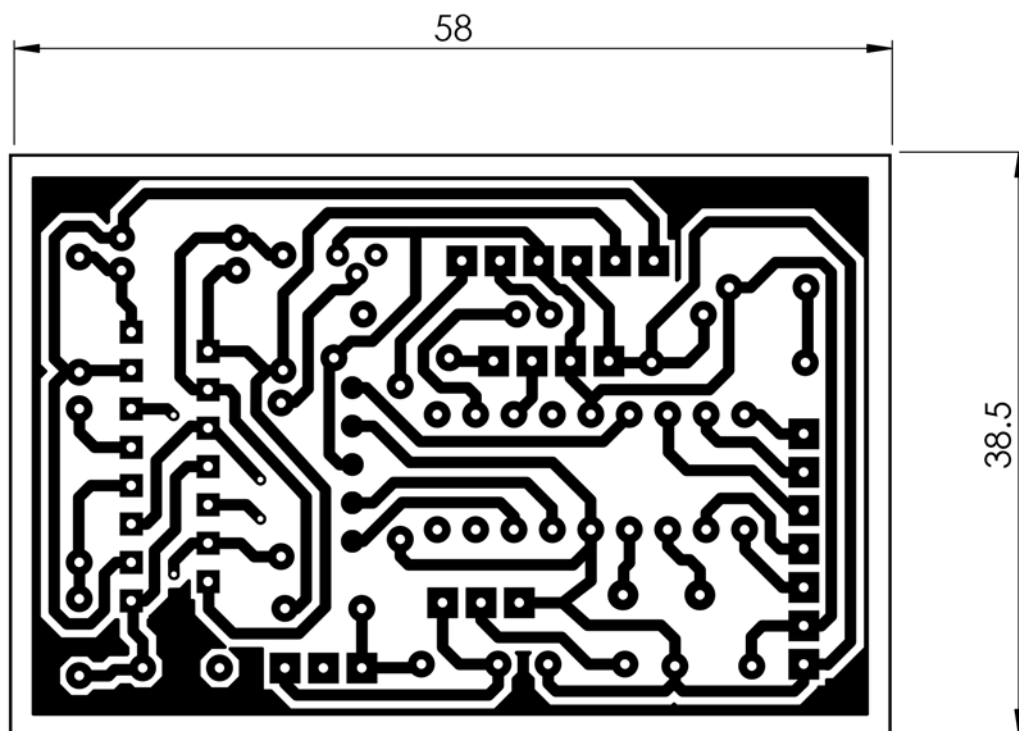
**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Plano de Situación PP			PLANO N° 400.002
2:1				Sustituye a
				Sustituido por



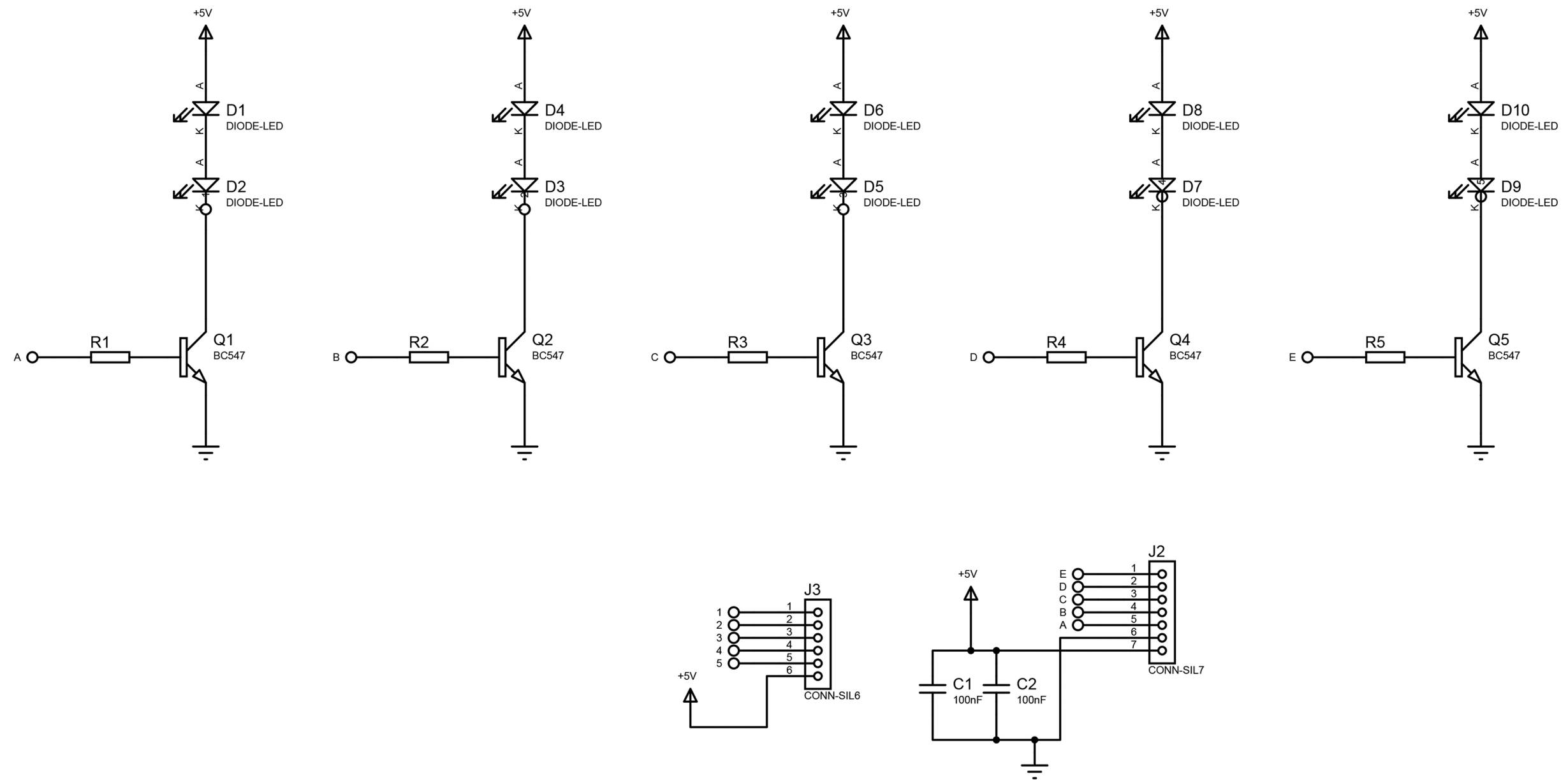
**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Placa PCB - Top PP			PLANO N° 400.003
2:1				Sustituye a
				Sustituido por

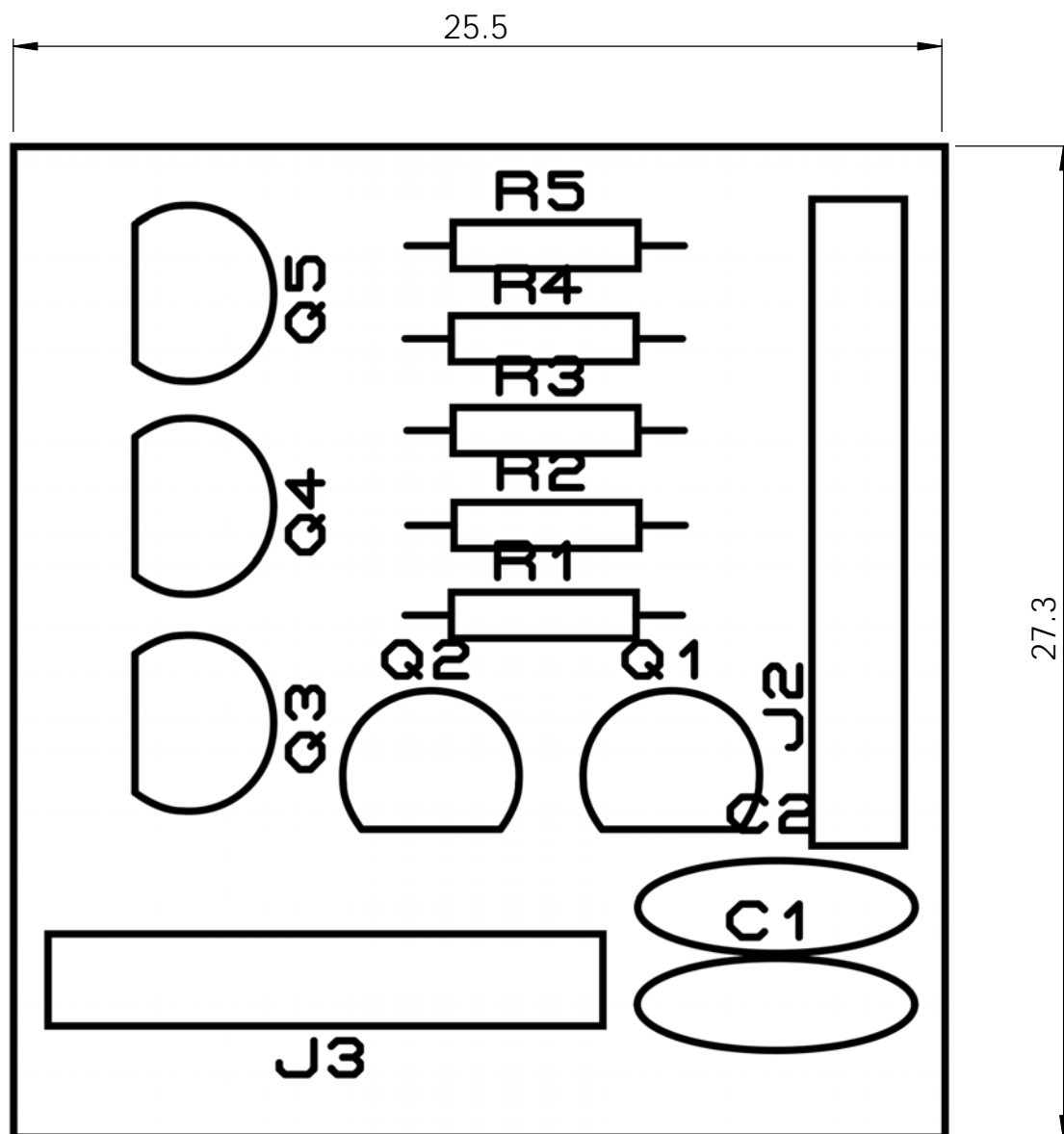


**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Placa PCB - Bottom PP			PLANO N° 400.004
2:1				Sustituye a
				Sustituido por

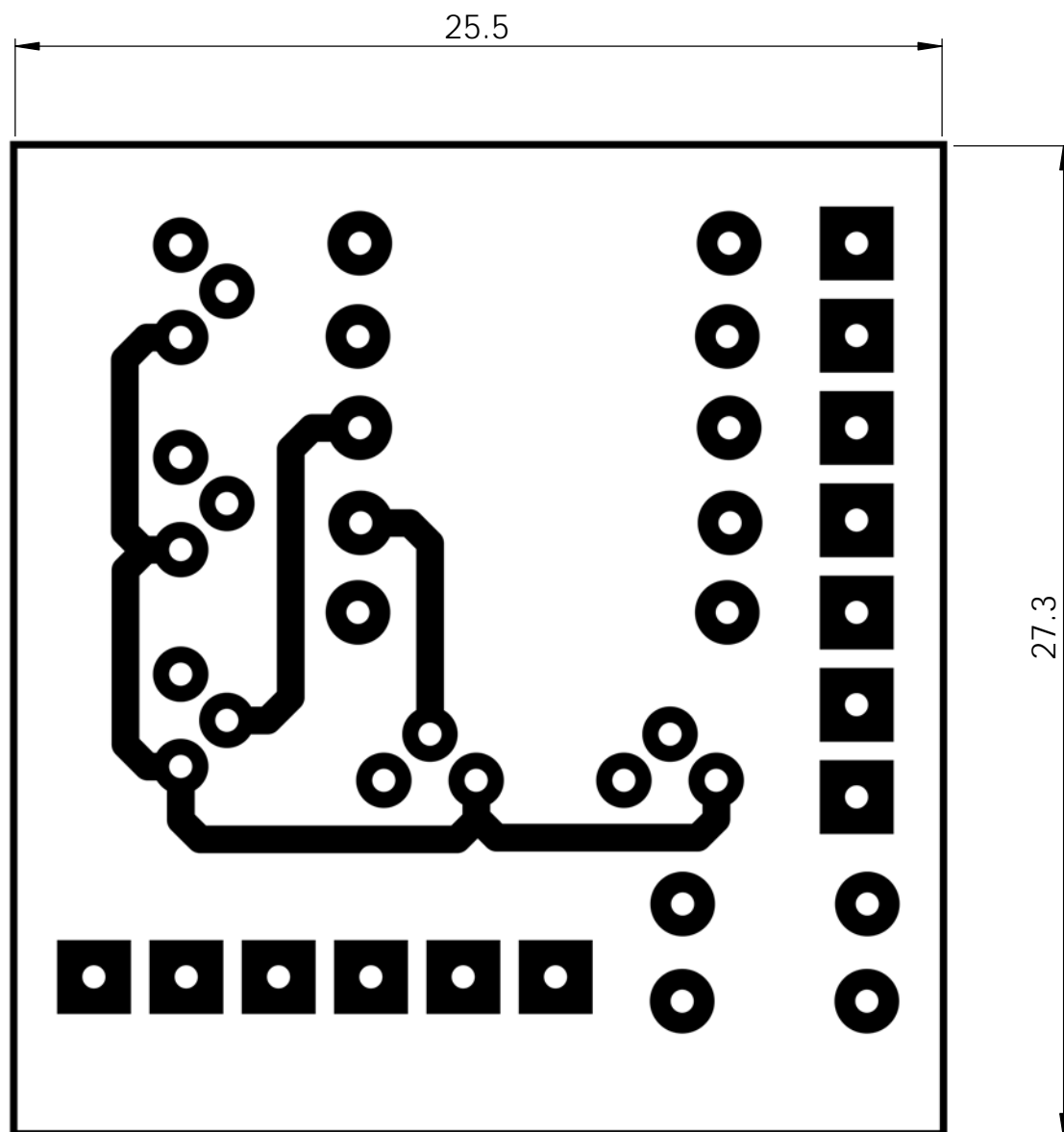


MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA - TRABAJO FIN DE MÁSTER -				
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COLABORACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	10/05/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	22/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	24/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Circuito Esquemático PA			PLANO N° 500.001
				Sustituye a
				Sustituido por



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

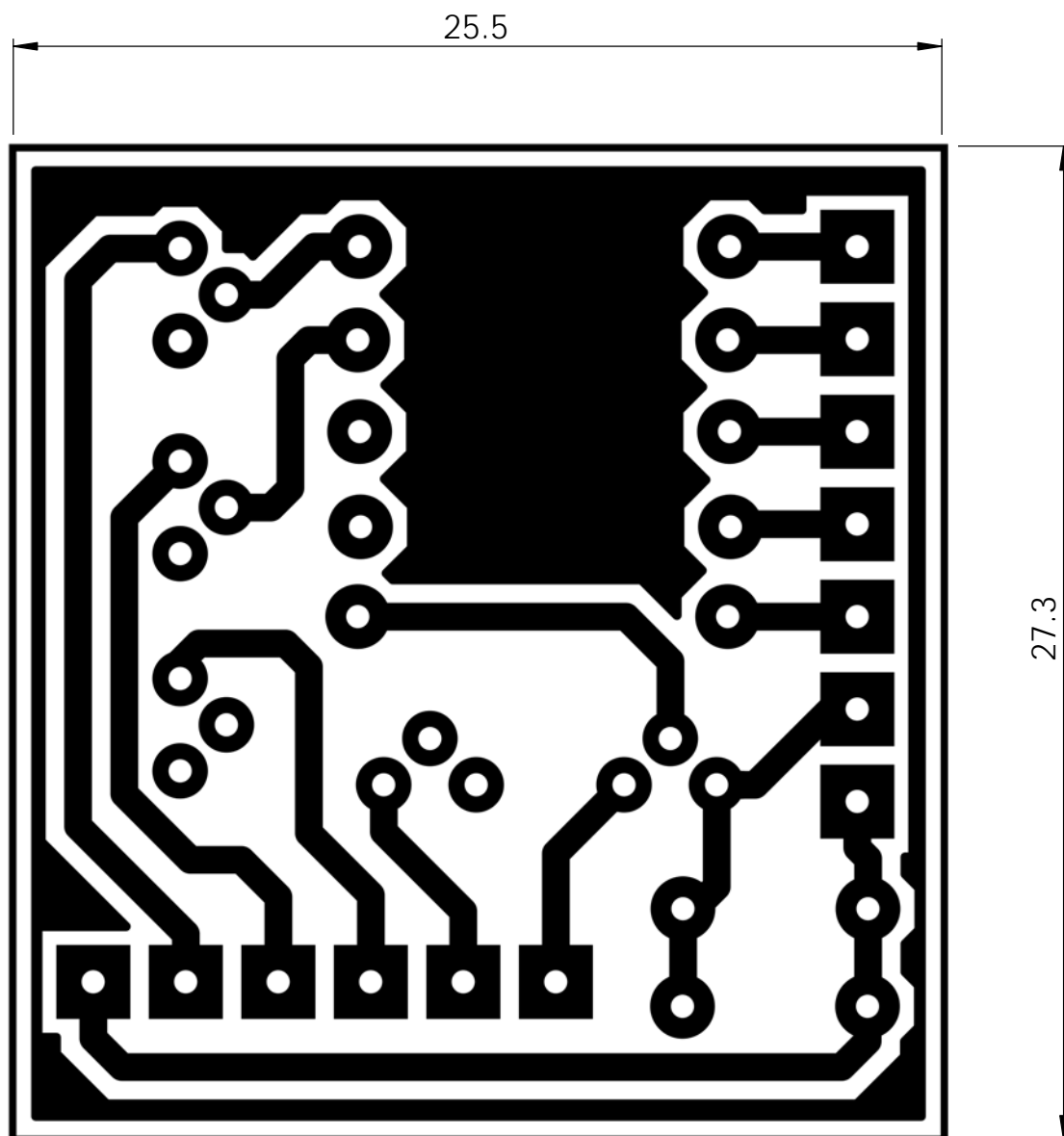
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Plano de Situación PA			PLANO N° 500.002
5:1				Sustituye a
				Sustituido por



**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

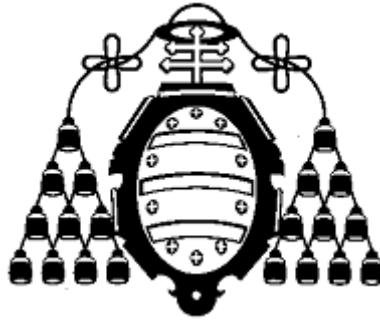
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Placa PCB - Top PA			PLANO N° 500.003
5:1				Sustituye a
				Sustituido por





**MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA  
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -**

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACION VIA BLUETOOTH
Proyectado	07/04/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Dibujado	20/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
Comprobado	23/06/2015	Alexandra Borja Gonzalo		
ESCALA	Placa PCB - Bottom PA			PLANO N° 500.004
5:1				Sustituye a
				Sustituido por



**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO**

# **MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO**

**DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO  
CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VÍA BLUETOOTH**

**JULIO 2015**

**Alexandra Borja Gonzalo**

**José Manuel Sierra Velasco**

**Juan Díaz González**

## ÍNDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>COSTE POR PROTOTIPO.....</b>	<b>5</b>
2.1.	PROTOTIPO 1.0 .....	5
2.2.	PROTOTIPO 2.0 .....	7
<b>3.</b>	<b>COSTE GLOBAL .....</b>	<b>9</b>
3.1.	COSTES DE MATERIALES Y COMPONENTES COMERCIALES .....	9
3.2.	COSTE DE MANO DE OBRA .....	12
3.3.	COSTE DE AMORTIZACIÓN DE EQUIPOS Y SOFTWARE .....	15
3.4.	COSTES DE GASTOS GENERALES .....	16
3.5.	COSTE FINAL.....	17

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Desglose de costes de los componentes comerciales del prototipo 1.0 .....	5
Tabla 2.2. Desglose de los costes de fabricación del prototipo 1.0 .....	6
Tabla 2.3. Coste total de la implementación del prototipo 1.0 .....	6
Tabla 2.4. Desglose de costes de los componentes comerciales del prototipo 2.0 .....	7
Tabla 2.5. Desglose de los costes de fabricación del prototipo 2.0 .....	8
Tabla 2.6. Coste total de la implementación del prototipo 2.0 .....	8
Tabla 3.1. Desglose del coste del material electrónico .....	9
Tabla 3.2. Desglose del coste del material mecánico .....	10
Tabla 3.3. Coste total material y componentes comerciales. ....	11
Tabla 3.4. Desglose de costes de la fase de organización. ....	12
Tabla 3.5. Desglose de costes de la fase de diseño. ....	12
Tabla 3.6. Desglose de costes de la fase de implementación física .....	13
Tabla 3.7. Desglose de costes de la fase de test .....	14
Tabla 3.8. Coste total de la mano de obra del proyecto .....	14
Tabla 3.9. Costes de Hardware y Software informático .....	15
Tabla 3.10. Costes de Gastos Generales. ....	16
Tabla 3.11. Coste Total para el cliente.....	17

# 1. INTRODUCCIÓN

En primer lugar se mostrara un desglose de los costes requeridos para la implementación de los dos prototipos contruidos durante el desarrollo del presente proyecto, tanto a nivel de procesos de fabricación como de compra de los elementos comerciales requeridos en cada caso.

A continuación, se procederá a analizar los diversos costes parciales del proyecto mecatrónico completo, tales como el coste de los materiales y componentes, los equipos y software requeridos para su desarrollo, la mano de obra empleada y los gastos generales. Por último, tras el desglose de todos los presupuestos parciales, se facilita el coste total que supone el proyecto para el cliente, incluyendo beneficios industriales e impuestos.

Dado se trata de un proyecto multidisciplinar que combina conocimientos de diversa técnica, la mano de obra especializada en cada tarea correspondiente al diseño se desglosa en tres campos: Diseño Mecánico, Diseño Eléctrico y Diseño de Software o Control. También se recogerán las horas de trabajo llevadas a cabo por el personal para la Organización y Documentación del Proyecto.

El objetivo del proyecto, además del Diseño Mecánico, Eléctrico y de Control del KoalaBot Mini, también es su posterior Fabricación y Montaje, por lo que además de la correspondiente mano de obra que lleve a cabo dichas tareas, el presupuesto incluirá gastos de material y componentes comerciales para su ejecución práctica.

Dentro de la mano de obra también constará el coste del personal encargado de la fase de Test del KoalaBot Mini una vez montado, que incluye ensayos y pruebas de rendimiento para asegurar su correcto funcionamiento.

El tiempo para la realización total del proyecto se ha estimado en seis meses, lo que tendrá especial relevancia a la hora de calcular los gastos relativos al personal y a la amortización del hardware y software informático.

Todo el equipo, herramientas y utillaje empleados para la fabricación y el montaje del robot rastreador fueron facilitados por la Universidad, por lo que su coste no se incluirá en este presupuesto.

## 2. COSTE POR PROTOTIPO

En este apartado se procederá al desglose del coste empleado para la fabricación e implementación de cada uno de los prototipos desarrollados durante la realización del presente trabajo fin de master. En el mismo se incluyen los costes relativos a los componentes comerciales requeridos en cada prototipo, así como los costes de fabricación empleados (incluyendo tiempo de trabajo del operario, preparación de la máquina, etc.).

### 2.1. Prototipo 1.0

El prototipo 1.0 fue el primero en fabricarse para probar la validez del primer diseño desarrollado. Entre otras cosas el presente prototipo destaca por la selección de ABS como material para la fabricación de las piezas por impresora 3D y el empleo de una sola rueda en cada uno de los ejes del patín.

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>			<b>Pág. 1 PROTOTIPO 1.0 - COMPONENTES COMERCIALES</b>	
<b>Nº ORDEN</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>Nº UNIDADES</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>PRECIO UNITARIO MATERIAL (€)</b>	<b>TOTAL (€)</b>
1.2.0	MicroMetal GearMotor	Reductora 150:1; 200rpm; 40oz*in	1	Pololu	12,00	12,00
1.2.1	Ruedas	Goma blanda; d=32mm; b=7mm	6	Pololu	2,50	15,00
1.2.2	Acoplamiento Motor	d = 3mm	2	Pololu	2,68	5,36
1.2.3	Muelle Compresión	Aleación de Acero; 28.5x9mm, 2.33N/mm	3	RS	0,99	2,97
1.2.4	Tornillo tensor	DIN 933; M5x20	3	RS	0,01	0,03
1.2.5	Tuerca alojamiento	DIN 933; M5	3	RS	0,01	0,03
1.2.6	Polea	ABS; dext=175mm	1	Leroy Merlín	2,72	2,72
1.2.7	Tuerca bisagra	DIN 934; M3	4	RS	0,01	0,04
1.2.8	Varilla roscada	DIN 934; M3x45	4	RS	0,01	0,04
1.2.9	Eje rueda	d=3mm; l=20mm	5	RS	0,01	0,05
1.2.10	Chapa acero	Espesor 2mm	1	Leroy Merlín	2,50	2,50
1.2.11	Chapa aluminio	Espesor=1,2 mm	1	Leroy Merlín	2,30	2,30
1.2.12	Eje patín	d=4mm; l=20mm	3	RS	0,01	0,03
1.2.13	Carcasa motor	ABS	1	Pololu	2,50	2,50
<b>Coste Total de Componentes Comerciales del Prototipo 1.0 en euros</b>						<b>45,57 €</b>

Tabla 2.1. Desglose de costes de los componentes comerciales del prototipo 1.0

MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH		<div>Pág. 2</div> <div>PROTOTIPO 1.0 - COSTES DE FABRICACION</div>		
Nº ORDEN	TIPO DE PIEZA	MATERIAL	PROCESO DE FABRICACION	Nº UNIDADES	TIEMPO EMPLEADO (h)	TOTAL (€)
1.2.0	Piezas Metálicas	Aluminio	Corte por laser	5	1	76,16
1.2.1			Taladrado	5	0,3	10,50
1.2.2		Acero	Corte por láser	1	0,4	30,46
1.2.3			Taladrado	1	0,1	3,50
1.2.4			Plegado	1	0,1	3,50
1.2.5		Serrado	1	0,2	7,00	
1.2.6	Piezas Plástico	ABS	Impresión 3D	11	6	30,03
1.2.7		PVC	Torneado	2	1	35,00
1.2.8			Serrado	2	0,2	7,00
1.2.9			Taladrado	2	0,1	3,50
Coste Total de Fabricación del Prototipo 1.0 en euros						206,65 €

Tabla 2.2. Desglose de los costes de fabricación del prototipo 1.0

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH	Pág. 5 COSTE TOTAL - PROTOTIPO 1.0
Nº ORDEN	CONCEPTO		TOTAL (€)
5.1.0	Componentes Comerciales		45,57
5.1.1	Costes de Fabricación		206,65
Coste total del Prototipo 1.0 en euros			252,20 €

Tabla 2.3. Coste total de la implementación del prototipo 1.0

## 2.2. Prototipo 2.0

El prototipo 2.0 es la versión refinada y perfeccionada de la versión anterior, cuyo diseño fue posible refinar gracias a la evaluación y fase de test llevada a cabo sobre el prototipo físico en condiciones de funcionamiento real. En este caso destaca el empleo de una resina plástica (VeroWhitePlus) para la fabricación de las piezas por impresión 3D, la incorporación de dos ruedas por eje o adoptar un acoplamiento para alargar el eje motriz.

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>		<b>Pág. 1 PROTOTIPO 2.0 - COMPONENTES COMERCIALES</b>		
<b>Nº ORDEN</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>Nº UNIDADES</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>PRECIO UNITARIO MATERIAL (€)</b>	<b>TOTAL (€)</b>
1.2.0	MicroMetal GearMotor	150:1 200rpm 40oz/in	1	Pololu	12	12,00
1.2.1	Acoplamiento Motor	d = 3mm	2	Pololu	2,68	5,36
1.2.2	Ruedas	d=32mm; b=7mm Aleación de Acero,	12	Pololu	2,5	30,00
1.2.3	Muelle Compresión	28.5mm x 9mm, 2.33N/mm	3	RS	0,99	2,97
1.2.4	Tornillo tensor	DIN 933; M5x20	3	RS	0,01	0,03
1.2.5	Tuerca alojamiento	DIN 933; M5	3	RS	0,01	0,03
1.2.6	Polea	ABS; d <sub>ext</sub> =175mm	1	Leroy Merlín	2,72	2,72
1.2.7	Tornillo bisagra	DIN 934; M3x45	6	RS	0,01	0,06
1.2.8	Tuerca bisagra	DIN 934; M3	4	RS	0,01	0,04
1.2.9	Tornillo tope	M2,5x3	3	RS	0,01	0,03
1.2.10	Tuercas separadores	DIN 934; M3x20	8	RS	0,01	0,08
1.2.11	Tornillo separadores	DIN 934; M3x20	8	RS	0,01	0,08
1.2.12	Eje rueda	d=3mmx20	6	RS	0,01	0,06
1.2.13	Chapa aluminio	Espesor 1,2 mm	1	Leroy Merlín	2,3	2,30
1.2.14	Chapa acero	Espesor 2mm	1	Leroy Merlín	2,5	2,50
1.2.15	Eje patín	d=4x20mm	3	RS	0,01	0,03
1.2.16	Carcasa motor	ABS	1	Pololu	2,5	2,50
<b>Coste Total de Componentes Comerciales del Prototipo 2.0 en euros</b>						<b>60,79 €</b>

Tabla 2.4. Desglose de costes de los componentes comerciales del prototipo 2.0



MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH		Pág. 2 PROTOTIPO 2.0 - COSTES DE FABRICACION		
Nº ORDEN	TIPO DE PIEZA	MATERIAL	PROCESO DE FABRICACION	Nº UNIDADES	TIEMPO EMPLEADO (h)	TOTAL (€)
1.2.0	Piezas Metálicas	Aluminio	Corte por laser	6	1	76,16
1.2.1			Taladrado	6	0,3	10,50
1.2.2		Acero	Corte por laser	1	0,4	30,46
1.2.3			Taladrado	1	0,1	3,50
1.2.4			Plegado	1	0,1	3,50
1.2.5			Serrado	1	0,2	7,00
1.2.6			Fresado	1	0,1	3,50
1.2.7	Piezas Plástico	Resina VWP	Impresión 3D	18	9	70,13
1.2.8		PVC	Torneado	2	1	35,00
1.2.9			Serrado	2	0,2	7,00
1.2.10			Taladrado	2	0,1	3,50
Coste Total de Fabricación del Prototipo 2.0 en euros						250,25 €

Tabla 2.5. Desglose de los costes de fabricación del prototipo 2.0

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH	Pág. 3 COSTE TOTAL - PROTOTIPO 1.0
Nº ORDEN	CONCEPTO		TOTAL (€)
5.1.0	Componentes Comerciales		60,79
5.1.1	Costes de fabricación		250,25
Coste total del Prototipo 2.0 en euros			311,04 €

Tabla 2.6. Coste total de la implementación del prototipo 2.0

### 3. COSTE GLOBAL

El presupuesto estará centrado en los costes que conlleva la realización de todo el proyecto. Por lo tanto, en los próximos apartados se ha desglosado el presupuesto total en los siguientes apartados: Costes de Materiales y Componentes Comerciales, Costes de Mano de Obra, Costes de Amortiguación de Equipos y Software, Coste de Generales y por último el Coste Total del proyecto para el cliente.

#### 3.1. Costes de Materiales y Componentes Comerciales

El material necesario para la fabricación del prototipo del Koala se divide en componentes mecánicos y componentes electrónicos, tal y como se observa en la tabla 1.

MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH			Pág. 1 COSTES DE MATERIAL - ELECTRONICO	
Nº ORDEN	CONCEPTO	DESCRIPCION	Nº UNIDADES	FABRICANTE/ DISTRIBUIDOR	PRECIO UNITARIO MATERIAL (€)	TOTAL (€)
1.2.0	Placa PCB	Doble cara	2	CIF	2,85	5,70
1.2.1	Batería Recargable	LiPo 7.4V 500mAh	1	Turnity	12,00	12,00
1.2.2	Modulo Bluetooth	HC-06	1	Arduino	7,50	7,50
1.2.3	Regulador de tensión	V <sub>salida</sub> = 5V	1	Fairchild	0,69	0,69
1.2.4	Zócalos	Pines torneados	1	Electrosón	0,95	0,95
1.2.5	Tiras de pines	Macho	1	Electrosón	1,45	1,45
1.2.6	Tiras de pines	Hembra	1	Electrosón	1,45	1,45
1.2.7	Resistencia	15Ω; Pot=1/2W	1	Electrosón	0,07	0,07
1.2.8	Resistencia	10KΩ; Pot=1/2W	7	Electrosón	0,07	0,49
1.2.9	Resistencia	1KΩ; Pot=1/2W	3	Electrosón	0,07	0,21
1.2.10	Diodo LED	Colores varios	10	Electrosón	0,13	1,30
1.2.11	Diodo Zener	3.3V	1	Fairchild	0,18	0,18
1.2.12	Diodo Rectificador	MUR160 Fast Recovery ns<60ms	4	Farnell	0,12	0,48
1.2.13	Pulsador	2 pines; NA	1	Electrosón	0,10	0,10
1.2.14	Oscilador externo	Cristal de cuarzo 4MHz	1	Hosonic	0,15	0,15
1.2.15	Condensador	Cerámico 100nF	7	Electrosón	0,08	0,56
1.2.16	Condensador	Cerámico 330 nF	1	Electrosón	0,32	0,32
1.2.17	Transistor	NPN Bipolar BC547	6	Fairchild	0,47	2,82
1.2.18	Rollo de estaño	2x1,5mm	1	Electrosón	1,98	1,98
1.2.19	Rollo de cables	2x1,5mm	1	Electrosón	3,20	3,20
Coste Total del Material Electrónico en euros						41,60 €

Tabla 3.1. Desglose del coste del material electrónico

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>			<b>Pág. 2 COSTES DE MATERIAL – MECÁNICO</b>	
<b>Nº ORDEN</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>Nº UNIDADES</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>PRECIO UNITARIO MATERIAL (€)</b>	<b>TOTAL (€)</b>
1.2.0	Bobina Impresora 3D	d=1,75mm; azul; PLA	1	Arduino	18,75	18,75
1.2.1	Muelle Compresión	Aleación de Acero; 28.5mm x 9mm; 2.33N/mm	10	RS	0,99	9,90
1.2.2	Tornillo Regulador	DIN 933 M5x20	6	RS	0,01	0,06
1.2.3	Tuerca Regulador	DIN 933 M5	6	RS	0,01	0,06
1.2.4	Tornillo Bisagra	DIN 934 M3x45	6	RS	0,01	0,06
1.2.5	Tuerca Bisagra	DIN 934 M3	6	RS	0,01	0,06
1.2.6	Tornillo Separador	DIN 933 M3x20	8	RS	0,01	0,08
1.2.7	Tuerca Separador	DIN 933 M3	8	RS	0,01	0,08
1.2.8	MicroMetal GearMotor	150:1; 200rpm; 40oz*in	2	Pololu	12,00	24,00
1.2.9	Rueda	d=32mm; b=7mm	12	Pololu	2,50	30,00
1.2.10	Acoplamiento	d=3mm	1	Pololu	2,68	2,68
1.2.11	Carcasa motor	ABS	2	Pololu	2,50	5,00
1.2.12	Polea	d=175mm; ABS	2	Leroy Merlin	2,72	5,44
1.2.13	Chapa aluminio	espesor 1,2mm	1	Leroy Merlin	2,30	2,30
1.2.14	Varilla acero	d=3mm; L=1m	1	Leroy Merlin	1,20	1,20
1.2.15	Tubo aluminio	dint=3	1	Leroy Merlin	1,14	1,14
<b>Coste Total del Material Mecánico en euros</b>						<b>100,81 €</b>

Tabla 3.2. Desglose del coste del material mecánico

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>	<b>Pág. 3</b> <b>COSTE MATERIAL - TOTAL</b>
Nº ORDEN	CONCEPTO	TOTAL (€)	
1.3.0	Material Mecánico	101	
1.3.1	Material Electrónico	42	
<b>Coste total de Material en euros</b>			<b>142 €</b>

*Tabla 3.3. Coste total material y componentes comerciales.*

### 3.2. Coste de Mano de Obra

En los siguientes subapartados se exponen los gastos de recursos humanos y técnicos requeridos para la realización del proyecto, divididos en organización y documentación, diseño, fabricación y montaje y test. El desglose completo se recoge en la tabla 2.

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>		<b>Pág. 1 COSTES DE MANO DE OBRA - ORGANIZACIÓN Y DOCUMENTACION</b>	
Nº ORDEN	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO (€/h)	Nº HORAS	TOTAL (€)	
2.1.0	Adquisición de conocimientos previos	35	50	1.750	
2.1.1	Planificación del proyecto	35	20	700	
2.1.2	Coordinación de los recursos	35	10	350	
2.1.3	Elaboración documentación formal	35	150	5.250	
<b>Coste total de Organización y Documentación en euros</b>				<b>8.050 €</b>	

Tabla 3.4. Desglose de costes de la fase de organización.

MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH	Pág. 2 COSTES DE MANO DE OBRA - DISEÑO	
Nº ORDEN	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO (€/h)	Nº HORAS	TOTAL (€)
Mecánico				
2.2.0	Síntesis y diseño del prototipo	35	40	1.400
2.2.1	Modelado 3D del diseño	35	70	2.450
2.2.2	Análisis del modelo mecánico	35	20	700
Electrónico				
2.2.3	Diseño del circuito esquemático	35	50	1.750
2.2.4	Implementación en protoboard	35	40	1.400
2.2.5	Diseño de las PCBs	35	80	2.800
Software				
2.2.6	Programación del microcontrolador	35	50	1.750
2.2.7	Programación de la app móvil	35	40	1.400
2.2.8	Diseño interfaz app móvil	35	40	1.400
Coste total de Diseño en euros				15.050 €

Tabla 3.5. Desglose de costes de la fase de diseño.

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>		<b>Pag.3</b> <b>COSTES DE MANO DE OBRA - FABRICACION Y MONTAJE</b>	
Nº ORDEN	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO (€/h)	Nº HORAS	TOTAL (€)	
Mecánico					
2.3.0	Limpieza de piezas prototípicas	15	1	15	
2.3.1	Corte por laser	15	1	15	
2.3.2	Torneado	15	1	15	
2.3.3	Taladrado	15	0,5	8	
2.3.4	Serrado	15	0,5	8	
2.3.5	Plegado	15	0,5	8	
Electrónico					
2.3.7	Impresión de las PCB	15	1	15	
2.3.8	Taladrado de las PCB	15	1	15	
2.3.9	Soldadura de los componentes	15	6	90	
<b>Coste total de fabricación y Montaje en euros</b>				<b>180€</b>	

Tabla 3.6. Desglose de costes de la fase de implementación física

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		<b>DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH</b>		<b>Pág. 4</b> <b>COSTES DE MANO DE OBRA - TEST</b>	
Nº ORDEN	CONCEPTO	PRECIO UNITARIO (€/h)	Nº HORAS	TOTAL (€)	
Mecánico					
2.4.0	Pruebas de funcionamiento parcial	35	10	350	
2.4.1	Pruebas de calidad y ajuste	35	5	175	
2.4.2	Simulación mecánica global	35	10	350	
Electrónico					
2.4.3	Revisión conexiones PCB	35	7	245	
2.4.4	Pruebas de funcionamiento parcial	35	10	350	
2.4.5	Simulación electrónica global	35	20	700	

Software				
2.4.6	Pruebas y depuración del programa C	35	15	525
2.4.7	Implementación app-código C	35	18	630
2.4.8	Simulación control global	35	15	525
<b>Coste total de Test en euros</b>				<b>3.850 €</b>

Tabla 3.7. Desglose de costes de la fase de test

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH	Pág. 5 COSTE MANO DE OBRA - TOTAL
Nº ORDEN	CONCEPTO	TOTAL (€)	
5.1.0	Organización y Documentación	8.050	
5.1.1	Diseño	15.050	
5.1.2	Fabricación y Montaje	188	
5.1.3	Test	3.850	
<b>Coste total de Mano de Obra Total en euros</b>			<b>27.138 €</b>

Tabla 3.8. Coste total de la mano de obra del proyecto

### 3.3. Coste de amortización de Equipos y Software

En este apartado se hace referencia a los gastos de los equipos, programas informáticos y licencias de software requeridos para la realización de la investigación. El desglose se refleja en la siguiente tabla 3.

Se incorpora además un coeficiente de amortización puesto que los equipos y programas no tienen como destino el uso exclusivo para este proyecto. Para su cálculo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\text{Coef. de amortización} = \text{Tiempo de proyecto} / \text{Tiempo estimado de amortización}$$

Se estima que los equipos y el software tienen un periodo de amortización de al menos tres años.

MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA			DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH			Pág. 1 COSTES DE AMORTIZACION DE EQUIPOS Y SOFTWARE	
Nº ORDEN	PRODUCTO	DESCRIPCION	DESARROLLADOR	VERSION/ MODELO	PRECIO (€)	COEF. AMOR	TOTAL (€)
3.0	Software	Proteus Professional	Labcenter	8.0	5.314	0,07	371,98
3.1	Software	PIC C Compiler	CCS Inc.	4.1	Libre	-	0,00
3.2	Software	MPLAB IDE	Microchip	8.60	Libre	-	0,00
3.3	Software	AutoCAD	Autodesk	2014	4.775	0,01	47,75
3.4	Software	SolidWorks	SolidWorks Corp.	2014	6.490	0,07	454,30
3.5	Software	Office Professional	Microsoft	2013	539	0,08	43,12
3.6	Software	App Inventor	Google	2.0	Libre	-	0,00
3.7	Software	Photoshop	Adobe	CS6	1.077	0,01	10,77
3.8	Software	Acrobat	Adobe	X Pro	659	0,01	6,59
3.9	Hardware	PC Portátil	Toshiba	Windows 8.1	700	0,1	70,00
3.10	Hardware	Impresora 3D	Stratasys	Objet30 Scholar	30.000	0,0003	9,00
3.11	Hardware	Impresora 3D	HP	Designjet 3D Printer	15.000	0,0003	4,50
3.12	Hardware	Pickit3	Microchip	1.0.1.71	32	0,01	32,00
<b>Coste total de Amortización de Equipos y Software en euros</b>							<b>1.050,01 €</b>

Tabla 3.9. Costes de Hardware y Software informático



### 3.4. Costes de Gastos Generales

A continuación se muestra en la siguiente tabla 4 el desglose de los diferentes gastos generales que incluyen todo tipo de material de oficina y recursos requeridos para la elaboración de la documentación del proyecto.

MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH		Pag.1 GASTOS GENERALES	
Nº ORDEN	CONCEPTO	Nº UNIDADES	PRECIO UNITARIO MATERIAL	TOTAL (€)	
4.0	Material de escritorio	1	15	15	
4.1	Material informático	1	80	80	
4.2	Material fungible	1	10	10	
<b>Coste total de Gastos Generales en euros</b>				<b>105 €</b>	

Tabla 3.10. Costes de Gastos Generales.

### 3.5. Coste Final

Si se suman todos los costes parciales expuestos anteriormente obtenemos el coste total de ejecución material. Además debemos añadir a este coste un valor del beneficio industrial que se espera obtener del proyecto. Por ultimo de esta cantidad total obtenida, se calcula el impuesto sobre el valor añadido (IVA) y se suma a las cantidades anteriores para obtener finalmente el coste total que supone el proyecto para el cliente, tal y como se observa en la tabla 5.

<b>MÁSTER DE INGENIERÍA MECATRÓNICA</b>	DESARROLLO DE KOALABOT MINI PARA TRABAJO COLABORATIVO CON CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN VIA BLUETOOTH	Pág. 1
		COSTE GLOBAL
	CONCEPTO	TOTAL (€)
	Materiales y componentes comerciales	142,41 €
	Mano de Obra	27.137,50 €
	Equipos y Software	1.050,01 €
	Gastos Generales	105,00 €
	Coste Total de Ejecución Material	28.434,92 €
	Beneficio Industrial (8%)	2.274,79 €
	Coste Total exento de IVA	30.709,71 €
	IVA (21%)	6.449,04 €
	Coste Total del Proyecto	37.158,75 €

Tabla 3.11. Coste Total para el cliente.

El precio total del proyecto es:

**TREINTA Y SIETE MIL CIENTO CINCUENTA Y OCHO EUROS CON SETENTA Y CINCO.**

Fecha:

**01/06/2015**

Autorizado por:

**Alexandra Borja Gonzalo**

